

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA AEROESPACIAL

**EMMANUEL SCHLICKMANN**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO NUMÉRICO PARA DEFINIÇÃO DA ESCALA  
DOS FATORES QUE COMPÕEM INDICADOR DE ANÁLISE DE RISCO DE  
COLISÕES ENTRE FAUNA E AERONAVES**

Joinville

2018

**EMMANUEL SCHLICKMANN**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO NUMÉRICO PARA DEFINIÇÃO DA ESCALA  
DOS FATORES QUE COMPÕEM INDICADOR DE ANÁLISE DE RISCO DE  
COLISÕES ENTRE FAUNA E AERONAVES**

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Aeroespacial do  
Centro Tecnológico de Joinville da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Luís Fernando Peres Calil.

Joinville

2018

**EMMANUEL SCHLICKMANN**

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO NUMÉRICO PARA DEFINIÇÃO DA ESCALA  
DOS FATORES QUE COMPÕEM INDICADOR DE ANÁLISE DE RISCO DE  
COLISÕES ENTRE FAUNA E AERONAVES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Aeroespacial, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 20 de novembro de 2018.

---

Dr. Rafael Gigena Cuenca  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Dr. Luís Fernando Peres Calil  
Orientador

---

Dr. Rafael Gigena Cuenca  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Msc. Paulo Vinicius Davanço  
Membro  
Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – Infraero

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Cláudio e Arlete.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, Senhor do Universo, pela vida e oportunidade de conhecer cada uma das pessoas que me ajudaram a chegar até aqui. E sem esquecer a intercessão ininterrupta da Mãe Maria Santíssima. “Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele a glória por toda a eternidade!” (Romanos 11,36).

Agradeço imensamente aos meus pais, Arlete e Cláudio, pelo amor e apoio incondicionais durante todo meu ciclo escola/universidade, sem eles nada teria sido possível, e todas as conquistas são dedicadas a eles, principalmente por cada momento que sacrificaram as próprias vontades para dedicarem-se a mim e minha irmã, Bianca, que também me incentiva e motiva a ser uma pessoa cada vez melhor. E também aos demais familiares que, numa família de Engenheiros da NASA, sempre me deram suporte e incentivo para seguir no meu caminho.

Amigos, sem vocês a caminhada teria sido muito mais pesada. São muitos os que dividiram o peso da graduação em engenharia, mesmo que nem saibam, mas carregaram essa cruz junto comigo. Para não ser injusto com nenhum, cito os grupos agradecendo: aos do tempo de Colégio Santo Antônio, do MJEC e Paróquia São Sebastião do Iririú, aos CEMtenários, aos Surucucus, aos Cortineiros da Distração, às meninas do Cristo Retentor, aos demais amigos da UFSC, e aos Cata(pa)ns, de forma espAcial pois são os amigos de aeroespacial, ou seja, sofremos juntos mais vezes.

Ao meu orientador, Professor Calil, que ao longo de dois anos e meio de pesquisa, me conduziu, ensinou e, também, aprendeu junto comigo, meu agradecimento, deixando uma frase muito marcante, que muitos podem considerar simples, mas que diz muito, principalmente na área aeroespacial, e está na epígrafe deste trabalho.

Ao Paulo Vinicius Davanço, biólogo, gerente de operações e segurança do Aeroporto de Joinville, por toda ajuda na busca e fornecimento de informações sobre risco de fauna.

Ao Professor Lucas Weihmann, e aos integrantes do Laboratório de Simulação Naval – LaSiN, que abriram as portas do laboratório para que esse trabalho pudesse ser desenvolvido.

À Universidade Federal de Santa Catarina, numa relação entre tapas e beijos, agradeço desde os financiadores da instituição, o povo brasileiro, até aos funcionários, servidores técnico-administrativos e professores, fica meu muito obrigado!

*“Everything is unprecedented until it happens for the first time.”*

Cap. Chesley ‘Sully’ Sullenberg

*“Se falhar, acabou a brincadeira.”*

Dr. Luís Fernando Peres Calil

## RESUMO

Risco de fauna é o risco de colisão entre animais e aeronaves. Acidentes aéreos por colisão com fauna já causaram fatalidades e causam anualmente prejuízos de milhões de dólares americanos às companhias aéreas em todo o mundo. No Brasil, há duas regulamentações distintas para o assunto, dificultando ações dos gerentes de segurança operacional de aeródromos e prejudicando alocação de recursos, aumentando riscos. Por isso, um novo indicador de análise de risco foi proposto, mas sem uma relação direta entre valores calculados com os dados existentes, impedindo uma previsão precisa de risco versus custos associados. O objetivo desse trabalho é desenvolver um método numérico para definir as escalas desse indicador a partir de dados existentes. Primeiramente foram processados em planilhas eletrônicas, os dados das colisões ocorridas no Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola – Joinville, Santa Catarina (ICAO: SBJV) entre os anos 2014 e 2015, que foram obtidos por meio do site do Centro de Prevenção e Investigação de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). Posteriormente, determinou-se um custo hipotético associado a cada ocorrência, com base no componente da aeronave que foi atingido. Em paralelo, as características de cada espécie considerada, assim como censo para o mesmo período, foram fornecidas por biólogo especialista no assunto da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Após o processamento das informações de entrada, foram gerados valores para as escalas de cada fator que compõe o indicador de risco usando um algoritmo desenvolvido em MATLAB R2013a®. Foram feitas  $3 \times 10^4$  simulações, com números aleatórios a cada iteração, buscando a escala que produzisse o melhor R-quadrado da regressão linear entre a variável independente – custo das colisões ocorridas – e a variável dependente – o valor calculado pelo indicador. Esse método mostrou uma forte predominância dos fatores massa e população. Assim, foi sugerida uma simplificação no indicador, somente com fatores população e massa, que resultou num R-quadrado de 0,9630 mostrando que a relação é representativa. Com mais tempo de dados, dados mais completos e de diferentes aeródromos, o indicador poderá ser calibrado e padronizado para todo o país, surgindo então uma alternativa para os métodos de análise de risco já existentes. Portanto, facilitando atividades de gestores de risco de fauna e também de alocação de recursos a fim de mitigar riscos, tornando a atividade aérea mais segura e rentável.

**Palavras-chave:** Risco de Fauna. Perigo Aviário. Segurança Operacional. Análise de Risco.

## ABSTRACT

Wildlife hazard is the hazard of collision between any animal and aircraft. Aircraft crashes due to wildlife brought fatalities and they can cost millions of dollars to airline companies annually around the world. In Brazil, there are two different regulations about the issue, and this situation complicates airport safety manager's actions and correct budget allocation, increasing hazard. A new index to calculate hazard was proposed, however, it does not correlate index values with existent data, preventing a precise hazard versus cost forecast. The main objective of this project is to develop a numerical method to define the new index's scales from historical data of wildlife collisions. First, data from collisions occurred at Lauro Carneiro de Loyola Airport – Joinville, Santa Catarina (ICAO: SBJV) in 2014 and 2015 were processed at spreadsheets. Data were obtained at Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center (CENIPA) website and it was defined a hypothetical associated cost for each collision. At the same time, chosen species characteristics and population were obtained from a specialist. After the input information processing, a developed MATLAB R2013a® algorithm simulated  $3 \times 10^4$  iterations, with random numbers at each iteration. It pursued scales which produce the best R-squared value for the linear regression that relates an independent variable – occurred collisions cost – to a dependent variable – calculated index value. The method presented a strong influence of population and mass factors. Therefore, a simplified index calculation was suggested, with population and mass factors only. In this case, a R-squared of 0.9630 was produced, proving the existence of a representative relation. Considering complete data from all Brazilian airports and for a longer period, the index could be precisely calibrated and used all over Brazil. Then, the new index would become an alternative to the current regulations and existing hazard analysis methods, standardizing procedures in all Brazilian aerodromes. Therefore, safety manager's actions would be favored as well budget could be better allocated. These activities would make aviation safer and more profitable.

**Keywords:** Wildlife Strike. Bird Strike. Airport Safety Management. Hazard Analysis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ATR 72-600, exemplo de aeronave turboélice. ....	30
Figura 2 – Boeing 737NG, exemplo de aeronave turbofan. ....	30
Figura 3 – Resumo dos Indicadores de Risco de Fauna abordados.....	34
Figura 4 – Exemplo de planilha para classificação de características de desvio, massa típica e agrupamento .....	36
Figura 5 – Exemplo de planilha de classificação do fator $t$ conforme a faixa de horário .....	37
Figura 6 – Exemplo de planilha para tratamento de dados sobre censo populacional .....	38
Figura 7 – Exemplo de planilha para manipulação de dados de movimentos.....	39
Figura 8 – Reprodução de parte da página da base de dados do CENIPA sobre colisão com fauna .....	40
Figura 9 – Exemplo de planilha com dados obtidos na Base de dados sobre colisão com fauna do CENIPA.....	41
Figura 10 – Retângulo de área $A$ contendo forma com área desconhecida $D$ .....	42
Figura 11 – Custo estimado acumulado por danos em colisões ao longo dos 24 meses analisados .....	44
Figura 12 – Valores acumulados de indicador para um dos casos simulados para os 24 meses analisados .....	44
Figura 13 – Fluxograma do algoritmo para definição de escala dos fatores $d$ , $g$ e $t$ .....	48
Figura 14 – Custo, em USD, acumulado em decorrência de colisões x Índice acumulado com um $R^2$ de 0,9844 .....	51
Figura 15 – Custo, em USD, acumulado em decorrência de colisões x Índice acumulado com um $R^2$ de 0,9876 .....	52
Figura 16 – Custo, em USD, acumulado em decorrência de colisões x Índice acumulado, sem normalização, com a regressão linear de $R^2$ de 0,9457 .....	53
Figura 17 – Frequência de colisões por mês entre 2014 e 2015.....	58
Figura 18 - Comparação entre os 3 casos de custos esperados para período de dois anos para as três primeiras espécies do ranking .....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de Avaliação de Risco.....	21
Quadro 2 – Matriz de Risco Operacional .....	22
Quadro 3 – Fator massa do corpo.....	23
Quadro 4 – Fator de tamanho de bando.....	23
Quadro 5 – Fator de comportamento de voo (da espécie).....	23
Quadro 6 – Definição do perigo causado pela espécie.....	24
Quadro 7 – Parâmetros de classificação de espécies-problema quanto à probabilidade e severidade.....	25
Quadro 8 – Parâmetros para classificação de probabilidade e severidade .....	25
Quadro 9 – Matriz de Risco de Fauna de Espécie-problema para aplicação em aeródromos..	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escalas definidas por simulação e respectivos $R^2$ .....	54
Tabela 2 – $R^2$ para o cálculo completo e as nove situações .....	55
Tabela 3 – Regressão Linear para estimar custos de colisão para cada espécie em dois anos para três situações .....	59
Tabela 4 – Custo estimado para cada colisão .....	66

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AeroCivil – Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Colômbia)

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

CENIPA – Centro de Investigación e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

CFR – Code of Federal Regulations (Estados Unidos da América)

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FAA – Federal Aviation Administration (Estados Unidos da América)

FAB – Força Aérea Brasileira

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

MMA – Ministério do Meio Ambiente

RBAC – Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil

SBJV – Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola – Joinville, Santa Catarina

SR – Severidade Relativa

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

g – Grama (Unidade de massa)

m – Metro (Unidade de comprimento)

USD/US\$ – Dólares estadunidenses (Moeda)

$R^2$  – Coeficiente de determinação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo Geral .....	17
1.1.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>2 INDICADORES DE RISCO DE FAUNA .....</b>	<b>18</b>
2.1 DOLBEER, WRIGHT E CLEARY (2000) .....	18
2.2 CARTER (2001) .....	19
2.3 VILLAREAL (2008) .....	20
2.4 PATON (2010) .....	23
2.5 OLIVEIRA (2014) .....	24
2.6 RBAC 164 (ANAC, 2015) .....	26
2.7 CONAMA 466/2015 (BRASIL, 2015) .....	27
2.8 INDICADOR DE RISCO DE SCHLICKMANN E CALIL (2017) .....	27
2.8.1 Fatores .....	28
2.8.2 Cálculo do Indicador .....	31
2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	32
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES .....	35
3.2 CENSO POPULACIONAL .....	38
3.3 MOVIMENTOS .....	39
3.4 HISTÓRICO DE COLISÕES .....	40
3.5 SIMULAÇÃO .....	42
3.5.1 Método de Monte Carlo .....	42
3.5.2 Regressão Linear .....	43
3.5.3 Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) .....	46
3.5.4 Algoritmo .....	47

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>50</b>
4.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	54
4.2 SAZONALIDADE .....	58
4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES .....	59
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Colisões entre fauna, principalmente aves, e aeronaves são um risco intrínseco à aviação simplesmente por compartilharem os mesmos espaços, tanto em voo, quanto em terra. Com isso, acidentes provocados por colisões já causaram a perda das vidas de cerca de 440 pessoas mundialmente, e somente no Brasil, em média, foram perdidos 8,2 milhões de dólares americanos por ano entre 2007 e 2011. (OLIVEIRA, 2014).

Cada país tem a própria regulamentação no gerenciamento de risco de fauna. No Brasil, há duas regulamentações diferentes para o mesmo caso, o que representa um problema. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) são os órgãos governamentais que possuem regulamentação nessa área, mas com duas regras distintas – Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil 164 (RBAC) (ANAC, 2014) e Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente 466/2015 (CONAMA) (BRASIL, 2015), respectivamente – com diferenças que podem causar discrepância no nível de tal risco em aeródromos, além de dificultar ações de gerenciamento de risco em aeroportos e, muitas vezes, impedir a comparação entre a situação de perigo entre os aeroportos, o que afeta a alocação de recursos a fim de mitigar o risco.

A utilização de indicadores para avaliação do risco substitui o uso de dados estatísticos de eventos ocorridos devido à qualidade nos reportes. Dolbeer, Wright e Cleary (2000) citam que apenas 22% dos reportes de colisões com dano analisados pelos autores apresentam estimativas de custo. Oliveira (2014) fala também sobre a omissão de reportes, e a quantidade de reportes sem qualidade. Somente os acidentes com danos graves são 100% reportados. No entanto, em muitos casos não existe registro de qual a espécie que colidiu. Logo, a confiabilidade ficaria comprometida ao utilizar somente as estatísticas retiradas dos bancos de dados, pois poderia superestimar ou subestimar as situações dos aeródromos. Dessa forma, os indicadores servem para estimar os riscos, tentando evitar vieses trazidos por dados estatísticos incompletos.

Dentro desse panorama, Schlickmann e Calil (2017) propuseram um indicador de análise de risco baseado na realidade brasileira, que leva em consideração os fatores de



horário de movimentação (pouso e/ou decolagem) das aeronaves, população, comportamento, capacidade em desviar das aeronaves, massa típica e agrupamento das espécies. Cada um desses fatores possui um valor associado, com pesos que variam com a espécie e horário. Após a definição de cada um dos fatores para cada espécie e cada movimento, é possível calcular o risco relativo a cada espécie, a cada movimento de aeronave, e ainda cada pista analisada, resultando em um número para cada situação.

Uma simulação constatou a coerência do indicador, no entanto, os valores obtidos na aplicação dos fatores não conseguem demonstrar a gravidade do risco calculado, ou estimar a que prejuízo o aeródromo está submetido. (SCHLICKMANN; CALIL, 2017).

Dados obtidos apresentam informações como efeito em voo dado a colisão e espécie causadora – sendo que custos associados foram estimados a partir da parte atingida reportada na aeronave. Por isso, a partir de dados reais de histórico de colisões, neste trabalho será feito o desenvolvimento de um método numérico para definir as escalas dos fatores do indicador, e assim os valores obtidos com o indicador resultem em números representativos.

Portanto, faz-se necessário a avaliação do risco nos aeroportos, de forma prática, única dentro do mesmo contexto, neste caso dentro do mesmo país, para que decisões sejam tomadas com o intuito de proporcionar o mínimo de colisões possível, evitando fatalidades e prejuízos para operadores e usuários, tornando a aviação mais segura e rentável.

Este trabalho consiste em pesquisa experimental, pois o histórico de colisões, variável independente, influenciará na determinação dos valores de cada fator, variáveis dependentes, tornando o modelo uma representação da realidade.

A primeira etapa é o tratamento dos dados sobre as colisões já ocorridas via planilhas eletrônicas. Na sequência, o problema é modelado através do software MATLAB R2013a®, onde um algoritmo desenvolvido busca relações entre os dados e os fatores envolvidos no indicador. Então os valores atribuídos para cada fator são corrigidos, estabelecendo correspondências ao valor obtido por indicador e custos envolvidos nas ocorrências. Assim desenvolvendo o método para definição das escalas.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho, com a proposta de melhorar um indicador de análise de risco de colisão entre fauna e aeronaves, tem o seguinte objetivo.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é desenvolver o método numérico para definir as escalas dos fatores do indicador de análise de risco proposto por Schlickmann e Calil (2017).

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Levantar dados sobre colisões entre fauna e aeronaves nos aeroportos brasileiros e custos associados;
- Definir o método para a definição das escalas dos fatores;
- Definir método de avaliação das escalas de fatores;
- Implementar o método de definição de escala e de avaliação em computador;
- Fazer análise de sensibilidade dos fatores a fim de avaliar se há predominância de um ou mais fatores;
- Avaliar o indicador proposto por Schlickmann e Calil (2017) e sugerir adequações.

## 2 INDICADORES DE RISCO DE FAUNA

Risco de fauna é um fato em todos os locais que possuem atividade aérea, sendo assim, diferentes estudos, em diferentes países e continentes, são produzidos para melhor lidar com o assunto levando em consideração as características locais que tornam o mesmo problema diferente em cada região.

Quantificar o risco de colisões entre fauna e aeronaves é de extrema importância para aumentar a segurança das operações aéreas e alocar recursos para que seja feita a mitigação de tal risco, uma vez que é impossível eliminá-lo totalmente. Nas próximas seções, serão discutidas as principais referências do assunto no mundo, regulamentações brasileiras, assim como o indicador cujo método para calibração é o objetivo deste trabalho.

### 2.1 DOLBEER, WRIGHT E CLEARY (2000)

O trabalho de Doolbeer, Wright e Cleary (2000) é utilizado pela Federal Aviation Administration (FAA), órgão que regula a aviação nos Estados Unidos, e tem objetivo de classificar espécies-problema. Os autores basearam-se na base de dados de colisão com fauna da FAA, classificando 21 espécies ou grupos de espécies (mais de uma espécie com características semelhantes agrupadas) que tiveram mais de 17 colisões reportadas entre janeiro de 1991 e maio de 1998.

O resultado do trabalho de Dolbeer, Wright e Cleary (2000), ao analisar os dados de colisão, é a produção de quatro rankings: relativos a danos, efeitos em voo, custos associados, e um somando os três anteriores.

Relativo a danos, identificou-se que a espécie mais problemática é o agrupamento da família Cervidae (Veados), por se tratar de uma espécie terrestre e com grande massa total. Ainda completam as três primeiras colocações, urubus (Cathartidae) em segundo e gansos (Anserini) em terceiro. (DOLBEER; WRIGHT; CLEARY, 2000).

O ranking sobre efeitos em voo também mostra os veados (Cervidae) na primeira posição, com urubus (Cathartidae) em segundo e em terceiro as águias-marinhas (*Pandion*

*haliaetus*). Sendo considerados efeitos em voo: decolagem abortada, desligamento de motor (compulsório ou preventivo), pouso forçado e arremetida. (DOLBEER; WRIGHT; CLEARY, 2000).

Um problema dos dados utilizados é a falta de informações completas, pois muitos reportes não contém informação sobre custos devido à colisão ou quase colisão, fato que Dolbeer, Wright e Cleary (2000) observaram que apenas 22% dos dados possuem estimativas de custo. Considerando todas as colisões, incluindo as sem estimativas de prejuízo, os gansos (Anserini) são os primeiros no ranking por custo, com uma média de US\$36.735,00 por colisão, com os pombos (*Columba livia*) em quarto lugar. Porém, ao considerar somente os reportes completos, para os gansos (Anserini) essa média passa a ser US\$257.144,00 por colisão, enquanto os pombos (*Columba livia*), tem uma média de US\$266.870,00/colisão, causando essa inconsistência, onde a espécie em primeiro no ranking tem custo por colisão menor que a quarta colocada. (DOLBEER; WRIGHT; CLEARY, 2000).

Por fim, o ranking que uniu os três anteriores, danos, efeitos em voo e custos, resultou os veados (Cervidae) em primeiro, com urubus (Cathartidae) em segundo, e gansos (Anserini) em terceiro. (DOLBEER; WRIGHT; CLEARY, 2000).

Dolbeer, Wright e Cleary (2000) concluem que a massa colidida (um indivíduo de massa grande ou um grupo de indivíduos com suas massas somadas) tem relação direta com a severidade dos danos.

No entanto, ao replicar o método produzido por Dolbeer, Wright e Cleary (2000), há possibilidade de agrupar espécies de formas diferentes, causando diferença na análise dos dados, prejudicando a inferência de risco associado.

## 2.2 CARTER (2001)

O estudo de Carter (2001) desenvolve uma análise de risco com dez fatores: número total de indivíduos de cada espécie, massa e área superficial (tamanho médio) de um indivíduo da espécie, número médio de animais encontrados, tempo de permanência da espécie no aeródromo, hora do dia em que a espécie é mais ativa, localização da espécie em relação a operações de voo, tempo em que a espécie permanece em voo ou se movimentando, número de colisões envolvendo a espécie (histórico), habilidade da espécie em evitar colisões e suscetibilidade ao controle e/ou mitigação.

Cada um dos fatores tem seu motivo de importância explicado no artigo de Carter (2001), porém não serão abordados no presente trabalho.

O índice de análise de Carter (2001) atribui um valor de 01 a 100 para cada um dos dez fatores, que em seguida são multiplicados entre si, resultando num valor entre 01 e  $10^{20}$ . Por fim, aplica-se a equação 1, sendo  $x$  o resultado da multiplicação, obtendo o valor de risco associado à espécie ( $R$ ).

$$R = \log_{10} x \quad (1)$$

Nesse método – assim como proposto por Dolbeer, Wright e Cleary (2000) –, não há, de fato, uma análise de risco, acontece somente a classificação das espécies-problema, permitindo ao operador de aeródromo focar na mitigação das espécies mais problemáticas. Esse estudo também é base para a Instrução Suplementar (IS) 164-01A (ANAC, 2015), a ser discutida na seção 2.6.

O autor também apresenta o conceito de severidade relativa (SR), onde a espécie com  $R$  mais alto representa 100%, e as demais são calculadas a partir dela. Exemplo: Espécie A, com  $R$  de maior valor, possui  $R = 18,71$ , ( $\log 5,103^{18}$ ), e tem  $SR = 100\%$ . A espécie B é a segunda, com  $R = 17,62$ , ( $\log 4,18^{17}$ ), logo a  $SR = 17,62/18,71 = 94,2\%$ . As demais espécies seguiriam a mesma lógica, sendo normalizadas pela espécie com SR mais alta.

### 2.3 VILLAREAL (2008)

Villareal (2008) é o Plano de Manejo de Fauna para a Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (AeroCivil), órgão regulador da aviação civil na Colômbia, e estabelece políticas e medidas para lidar com risco de fauna nos aeródromos colombianos. A autora aponta funções e atividades desempenhadas por cada agente envolvido no assunto, incluindo poder público, autoridades militares, operadores e usuários de aeroportos e sociedade civil.

Quanto à análise de risco, Villareal (2008) divide em duas análises: classificação de espécies-problemas e risco operacional de aeroportos.

O quadro 1 apresenta a abordagem para classificar as espécies que podem representar risco muito alto, alto, médio ou baixo, dependendo da soma da pontuação de cada categoria (população, massa, tamanho de bando, quantidade de vezes que a espécie já foi encontrada em

censos, período do dia em atividade, localização, frequência de intensa atividade, histórico de colisões). Aplica-se esse método para determinar as espécies com mais potencial de causar acidentes. (VILLAREAL, 2008).

Quadro 1 – Matriz de Avaliação de Risco

Nível	População	Massa	Média de indivíduos avistados quando formam bandos.	Presença (% das vistorias em que a espécie foi identificada)	Período do dia (% das vezes em que foi avistada no período de maior atividade no aeródromo)	Localização (% das vezes em que foi localizada nas áreas de maior risco)	Voo/Atividade (% das vezes em que foi avistada em voo ou intensa movimentação pela área operacional)	Registros (histórico de reportes de colisão com fauna)	Risco
	A	B	C	D	E	F	G	H	A+B+...H
<b>3</b>	<b>Abundante:</b> média diária $\geq 50$ indivíduos.	<b>Muito grande:</b> $\geq 1500g$ .	<b>Grande:</b> $\geq 20$ indivíduos.	<b>Permanente:</b> presentes $\geq 90\%$ das vistorias.	<b>Permanente no período de maior atividade no aeródromo:</b> $\geq 90\%$ .	<b>Permanente nas áreas de maior risco:</b> $\geq 90\%$ .	$\geq 90\%$ das vezes avistada em voos longos, térmicas, ou em intensa movimentação pela área operacional.	Histórico de colisão no aeródromo nos últimos 5 anos.	<b>Muito alto:</b> 16 a 24 pontos.
<b>2</b>	<b>Comum:</b> média diária $\geq 20$ e $< 50$ .	<b>Grande:</b> $\geq 750g$ e $< 1500g$ .	<b>Médio:</b> $\geq 5$ e $< 20$ indivíduos.	<b>Frequente:</b> presentes entre $\geq 60\%$ e $< 90\%$ das vistorias.	<b>Frequente:</b> $\geq 60\%$ e $< 90\%$ .	<b>Frequente:</b> $\geq 60\%$ e $< 90\%$ .	$\geq 60\%$ e $< 90\%$ .	Histórico de colisão no aeródromo.	<b>Alto:</b> 11 a 15 pontos.
<b>1</b>	<b>Pouco comum:</b> média diária $\geq 10$ e $< 20$ indivíduos.	<b>Médio:</b> $\geq 250g$ e $< 750g$ .	<b>Pequeno:</b> $\geq 3$ e $< 5$ indivíduos.	<b>Transitória:</b> presentes entre $\geq 30\%$ e $< 60\%$ das vistorias.	<b>Transitória:</b> $\geq 30\%$ e $< 60\%$ .	<b>Transitória:</b> $\geq 30\%$ e $< 60\%$ .	$\geq 30\%$ e $< 60\%$ .	Histórico de colisão em demais aeródromos brasileiros.	<b>Médio:</b> 6 a 10 pontos.
<b>0</b>	<b>Rara:</b> média diária $< 10$ indivíduos.	<b>Pequeno:</b> $< 250g$ .	<b>Solitários ou em pares.</b>	<b>Rara:</b> presentes em $< 30\%$ das vistorias.	<b>Rara:</b> $< 30\%$ .	<b>Rara:</b> $< 30\%$ .	$< 30\%$ .	Sem histórico de colisões no Brasil.	<b>Baixo:</b> 1 a 5 pontos.

Fonte: ANAC (p.8, 2015) adaptado de Villareal (2008)

Para a avaliação do risco operacional no aeródromo como um todo, utiliza-se a Matriz de Risco Operacional, encontrado no quadro 2, observando as espécies presentes no aeródromo.

Quadro 2 – Matriz de Risco Operacional

MATRIZ DE RISCO OPERACIONAL		Tamanho →		Pequenas (0-500g)			Médias (500-1200g)			Grandes (>1250g)		
				1			2			3		
		Abundância →		Baixa (0-10 indivíduos)	Média (11-24 ind)	Alta (>25 ind)	Baixa (0-10 ind)	Média (11-24 ind)	Alta (>25 ind)	Baixa (0-10 ind)	Média (11-24 ind)	Alta (>25 ind)
Comportamento ↓		Altura ↓		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Empoleirada	1	0-50m	1	4	5	6	5	6	7	6	7	8
		50-150m	2	5	6	7	6	7	8	7	8	9
		>150m	3	6	7	8	7	8	9	8	9	10
Voos curtos ou unidirecional	2	0-50m	1	5	6	7	6	7	8	7	8	9
		50-150m	2	2	7	8	7	8	9	8	9	10
		>150m	3	7	8	9	8	9	10	9	10	11
Voos em círculos ou multidirecional	3	0-50m	1	6	7	8	7	8	9	8	9	10
		50-150m	2	7	8	9	8	9	10	9	10	11
		>150m	3	8	9	10	9	10	11	10	11	12

</

Fonte: Adaptado de Villareal (2008)

Segundo Villareal (2008), a aplicação da Matriz de Risco Operacional deve ser interpretada da seguinte maneira:

- Valores 11 e 12 – Risco Alto – Grande presença de indivíduos, com tamanhos maiores, com voos ativos em áreas de manobras de aeronaves. Recomenda-se fechamento do aeroporto até a diminuição do risco.
- Valores 9 e 10 – Risco Médio – Apresenta menores chances de colisão com danos graves, devido a ser com aves de menor porte ou poucos indivíduos. Sem ação preventiva pode tornar-se alto risco. Recomenda-se tomar medidas de mitigação ou dispersão de aves.
- Valores 7 e 8 – Risco Baixo – Pequena probabilidade de ocorrer colisão, caso ocorra, com menores consequências.
- Valores 6 ou menores – Risco Nulo – Não representa perigo para as operações.

O método desenvolvido por Villareal (2008) pode gerar ambiguidades em sua aplicação, devido ter duas abordagens diferentes em um único trabalho, e assim como os

demais trabalhos apresentados, não compara situações de diferentes aeródromos, nem relaciona a situação com custo projetado.

#### 2.4 PATON (2010)

Desenvolvido para ser uma ferramenta simples para identificação das espécies que trazem mais risco para ser utilizado nos aeródromos australianos, o trabalho de Paton (2010) consiste na multiplicação de fatores de três categorias diferentes: massa típica da espécie, tamanho de bando e comportamento em voo. Os quadros 3, 4 e 5 mostram o valor de cada fator a ser atribuído de acordo com característica de cada espécie.

Quadro 3 – Fator massa do corpo

<b>Massa do Corpo</b>	<b>Pontuação</b>
<b>&lt; 20g</b>	1
<b>21 – 50g</b>	2
<b>51 – 200g</b>	4
<b>201 – 1000g</b>	8
<b>1001 – 5000g</b>	16
<b>&gt; 5000g</b>	32

Fonte: Paton (2010)

Quadro 4 – Fator de tamanho de bando

<b>Tamanho do Bando</b>	<b>Pontuação</b>
<b>Normalmente solitário ou largamente espaçado</b>	1
<b>Frequentemente em bando pequeno</b>	2
<b>Frequentemente em bando grande</b>	4

Fonte: Paton (2010)

Quadro 5 – Fator de comportamento de voo (da espécie)

<b>Comportamento de voo</b>	<b>Pontuação</b>
<b>Rápido e direto</b>	1
<b>Lento, pairando, errante, manobrável</b>	2

Fonte: Paton (2010)



Após a identificação da espécie em cada uma das três categorias, multiplicam-se as pontuações atribuídas à espécie. O resultado é comparado com a escala de pontuação do quadro 6 para classificar a espécie em relação às consequências que ela pode causar. (PATON, 2010).

Quadro 6 – Definição do perigo causado pela espécie

<b>Categoria das consequências</b>	<b>Pontuação</b>
<b>Extrema</b>	64 – 128
<b>Muito alta</b>	32
<b>Alta</b>	16
<b>Média</b>	8
<b>Baixa</b>	4
<b>Muito baixa</b>	1 – 2

Fonte: Paton (2010)

Cumprindo o objetivo proposto, não é possível comparar o risco a que o aeródromo está submetido, somente mostrar as espécies-problema com o método proposto por Paton (2010). O autor também não justifica os valores atribuídos de pontuação em cada categoria, por exemplo, o porquê de um bando grande (valor 4) ser duas vezes maior que um bando pequeno (valor 2) ou ainda qual o tamanho para a determinação de um bando grande ou pequeno.

## 2.5 OLIVEIRA (2014)

Primeiramente, Oliveira (2014) faz um levantamento de informações sobre risco de fauna no mundo, incluindo os trabalhos de Dolbeer, Wright e Cleary (2000), Carter (2001), Villareal (2008) e Paton (2010). Com o objetivo principal de nortear o assunto no Brasil, o trabalho de Oliveira (2014) é a base para a resolução CONAMA 466/2015, que será abordada numa seção posterior.

Oliveira (2014) chama a atenção para problemas encontrados em vários países como o reporte de colisão voluntário, que muitas vezes não é preenchido devidamente, formando um banco de dados incompleto, dificultando a análise do mesmo. Um problema que o autor cita no Brasil é justamente a falta de processos essenciais para o gerenciamento de risco de

fauna, o que em países como Canadá, Estados Unidos e Reino Unido já estão bem estabelecidos. O autor também destaca a importância de todos os envolvidos no assunto, poder público em todas as esferas, militares, operadores de aeródromos, companhias aéreas e demais usuários de aeródromos e a sociedade civil, dado que a área de aeródromo é pequena em comparação com a área de segurança operacional que é delimitada por raio de 20km a partir do centro da pista do aeroporto. (OLIVEIRA, 2014).

Para classificação de espécies-problema, são feitas análises de probabilidade e de severidade conforme quadro 7.

Quadro 7 – Parâmetros de classificação de espécies-problema quanto à probabilidade e severidade

PROBABILIDADE						SEVERIDADE						
Pontuação	Frequência de Colisões (1)	Classificação	Massa total (kg) (2)	Classificação	Permanência no Aeródromo (3)	Classificação	Proporção de colisões com dano (4)	Classificação	Severidade Relativa (5)	Classificação	Proporção de colisões múltiplas (6)	Classificação
5	>10		>10		>80%		>20%		>80%		>20%	
4	>3 até 10		>7,5 até 10		>60 a 80%		>10 a 20%		>60 a 80%		>10 a 20%	
3	>1 até 3		>5 até 7,5		>40 a 60%		>6 a 9,9%		>40 a 60%		>6 a 9,9%	
2	>0,3 até 1		>2,5 até 5		>20 a 40%		>2 a 5,9%		>20 a 40%		>2 a 5,9%	
1	≤0,3		≤2,5		≤20%		≤2%		≤20%		≤2%	
Probabilidade total (1+2+3)						Severidade Total (4+5+6)						

Fonte: Adaptado de Oliveira (2014)

A classe de cada categoria é somada resultando em um valor entre 3 e 15 para probabilidade (1+2+3), e outro, com os mesmos limites, para severidade (4+5+6), e devem ser lidos conforme Oliveira (2014), demonstrado pelo quadro 8.

Quadro 8 – Parâmetros para classificação de probabilidade e severidade

Classificação	Pontos
Muito alta	14 – 15
Alta	11 – 13
Moderada	8 – 10
Baixa	5 – 7
Muito baixa	3 – 4

Fonte: Oliveira (2014)

Após a classificação feita a partir da definição pelos parâmetros do quadro 8, aplica-se a Matriz de Risco de Fauna de Espécie-problema, apresentada no quadro 9.

Quadro 9 – Matriz de Risco de Fauna de Espécie-problema para aplicação em aeródromos

		PROBABILIDADE				
		Muito Alta	Alta	Moderada	Baixa	Muito Baixa
SEVERIDADE	Muito Alta	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto
	Alta	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto
	Moderada	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto	Moderado
	Baixa	Alto	Alto	Moderado	Moderado	Moderado
	Muito Baixa	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado

Fonte: Adaptado de Oliveira (2014)

Para fins de ações a serem tomadas, Oliveira (2014) sugere as seguintes medidas:

- Risco Muito Alto: medidas imediatas devem ser tomadas para diminuir risco causado pela espécie-problema.
- Risco Alto: medidas preventivas devem continuar e novas ações devem ser tomadas para reduzir risco causado pela espécie-problema.
- Risco Moderado: continuar ações já existentes para não aumentar risco causado pela espécie-problema.

Aplicando o método de Oliveira (2014), definem-se as espécies-problema que trazem mais risco para o aeródromo, focando ações nas espécies que trazem mais risco imediatamente. Porém, mesmo utilizando dados de histórico de colisões, não há como relacionar risco iminente com custo provável caso haja colisão.

## 2.6 RBAC 164 (ANAC, 2015)

No Brasil, duas regulamentações estão em vigor para o uso dos operadores de aeroportos, de modo que podem usar uma ou outra ou ambas para calcular as espécies-problema nos aeródromos, porém não possibilitam comparar a situação entre dois aeroportos, ou mesmo qual a gravidade do risco ao qual o aeroporto está submetido. A dificuldade encontrada nas duas regulamentações é a não concordância entre si, ou seja, utilizando os mesmos dados de censo, espécies, e demais condições, elas podem dar resultados diferentes, e não há recomendação quanto ao caso de contradição entre análises.

A primeira regulamentação sobre o assunto foi a RBAC 164 (ANAC, 2014), complementada pela IS 164-01A (ANAC, 2015) que orienta quanto à análise de risco a ser aplicada nos aeródromos brasileiros.

A regulamentação trazida pela IS 164 (ANAC, 2015) consiste em identificar espécies-problema a partir de valores, entre 01 (um) e 100, para cada uma das seguintes categorias: população global, massa, tamanho médio dos bandos, quantidade de tempo presente no aeródromo, período do dia de maior atividade, localização em relação às operações, tempo em voo ou atividade, número de reportes de colisão, habilidade de evitar colisões, suscetibilidade a ações de controle de fauna. As dez categorias são multiplicadas, resultando no valor  $x$ , aplicado na Equação 1, seguindo o método de Carter (2001).

O valor encontrado para  $R$  é o risco associado para uma espécie. A partir dessa fórmula, é possível encontrar quais são as espécies mais problemáticas no aeródromo onde a equação é aplicada. Porém, não é possível aferir o nível de risco a que o aeródromo está exposto, nem compará-lo com outros.

## 2.7 CONAMA 466/2015 (BRASIL, 2015)

O Ministério do Meio Ambiente do Brasil, através do CONAMA, em sua Resolução 466/2015 (BRASIL, 2015), sugere que seja aplicada análise de risco encontrada na seção 2.5, seguindo o método proposto por Oliveira (2014).

De forma análoga à IS 164-01A (ANAC, 2015), a análise de risco feita pela CONAMA 466/2015 (BRASIL, 2015), somente identifica as espécies-problema e avalia o risco trazido por tais espécies, não permitindo a avaliação do aeródromo como um todo, e se o grau de risco é maior ou menor.

## 2.8 INDICADOR DE RISCO DE SCHLICKMANN E CALIL (2017)

O indicador de risco proposto por Schlickmann e Calil (2017) buscou analisar o risco de forma que a identificação de espécies-problema e o risco geral no aeródromo sejam calculados ao mesmo tempo, dessa forma consegue-se averiguar qual a gravidade do risco que o aeródromo está submetido e também quais as espécies mais problemáticas.

Foram consideradas 8 categorias: Horário da movimentação, população (p), comportamento (t), capacidade de desvio (d), massa (m), agrupamento (g), número de espécies (n) e número de movimentações (j).

### 2.8.1 Fatores

A população (p) é calculada a partir dos censos realizados periodicamente nos aeródromos, caso não haja censo no dia deve-se utilizar o censo mais recente, e o número p é a quantidade de indivíduos. Schlickmann e Calil (2017, p.4) referem-se à população como “indivíduos de uma mesma espécie numa faixa de 150m para cada lado da pista a partir do seu centro, e 300m das cabeceiras”.

As cinco classes de horário de movimentação foram definidas com auxílio de especialista: A) De 00h00min a 05h00min, B) de 05h00min a 08h00min, C) de 08h00min a 17h00min, D) de 17h00min a 20h00min e E) de 20h00 a 00h00min. Elas são utilizadas para determinar o fator comportamento (t).

Cada espécie tem características distintas em relação ao horário de atividades (i.e. ave com hábitos noturnos, durante o dia permanece empoleirada), por isso o horário da movimentação da aeronave é considerado, influenciando no fator de comportamento (t), que representa o tempo em que a espécie fica em atividade, e classificado em três categorias: 1- empoleirada ou animal terrestre, 3- pouco ativa, 5- ativa na maior parte do tempo. Ou seja, para movimentos em diferentes horários, a mesma espécie pode comportar-se de formas distintas, recebendo pontuação 1, 3 ou 5.

O fator de capacidade de desvio (d) leva em consideração que algumas espécies têm instinto de enfrentar a aeronave, enquanto outras fogem. Essa categoria é dividida em quatro, espécies que: 1- não entram em rota de colisão, 3- possuem facilidade no desvio (espécies ágeis), 5- possuem dificuldade no desvio, 7- enfrentam a aeronave. Essa característica influencia diretamente no risco de ocorrer uma colisão, valores variam de 1 a 7.

A massa pode ser associada ao impacto de uma colisão através da energia cinética  $E_C = \left(\frac{1}{2} * Massa * Velocidade^2\right)$ . Schlickmann e Calil (2017) simplificaram o cálculo, considerando uma única velocidade para os movimentos. Para o cálculo do fator de massa (m), há uma diferença entre aviões turbofan e turboélice, pois, considerando a área projetada frontal de uma aeronave, a razão, entre a área projetada dos motores e da fuselagem + asas pela área total, muda de acordo com o tipo de aeronave. Essa diferenciação se faz importante,

porque os motores certificados pela parte 25 do título 14 do Code of Federal Regulations (CFR) (ESTADOS UNIDOS, 2018) devem resistir à colisão com uma ave de até 4lb (aproximadamente 1800g), tornando-se uma parte mais sensível. Desse modo, a equação 2 mostra o cálculo do fator m.

$$m = A_1 \cdot m_1 + A_2 \cdot m_2 \quad (2)$$

Onde,  $A_1$  e  $A_2$  são as razões típicas da área projetada frontal da fuselagem + asas e da área projetada frontal dos motores pela área total, respectivamente. Para uma aeronave a hélice, como o ATR 72-600 na figura 1,  $A_1=0,40$  e  $A_2=0,60$ . Enquanto para uma aeronave com turbofan, como o Boeing 737NG na figura 2,  $A_1=0,80$  e  $A_2=0,20$ . O termo  $m_1$  é calculado com massa típica da espécie (mt) em relação à maior ave brasileira que voa, o tuiuiú (*Jabiru mycteria*) com massa de até 8000g. Enquanto  $m_2$  é obtido com relação à certificação (1800 g).

$$m_1 = \begin{cases} \frac{mt}{8000}, & \text{para } mt < 8000g \\ 1, & \text{para } mt \geq 8000g \end{cases}$$

$$m_2 = \begin{cases} \frac{mt}{1800}, & \text{para } mt < 1800g \\ 1, & \text{para } mt \geq 1800g \end{cases}$$

Figura 1 – ATR 72-600, exemplo de aeronave turboélice.



Fonte: Prothero (p.1, 2013)

Figura 2 – Boeing 737NG, exemplo de aeronave turbofan.



Fonte: Frola (p.1, 2007)

O agrupamento das espécies é considerado pelo fator de agrupamento  $g$ , tendo três possibilidades, a espécie: 1- não se movimenta em bando, 1,5- raramente se movimenta em

bando e 2- tipicamente se movimenta em bando. Quanto maior o bando mais severo é a consequência dado uma colisão. Dessa forma, uma espécie pode receber valores 1, 1,5 ou 2.

### 2.8.2 Cálculo do Indicador

Com exceção do horário da movimentação, cada um dos demais fatores, citados na seção 2.8.1, recebem valores que são substituídos nas Equações 3, 4 e 5.

$$R_{EXP.} = p \times \frac{t}{5} \quad (3)$$

$$R_{OCOR.|EXP.} = \frac{d}{7} \quad (4)$$

$$R_{SEV.|OCOR.} = \frac{m \times g}{2} \quad (5)$$

$R_{EXP}$  é o risco de exposição,  $R_{OCOR.|EXP}$  é o risco de ocorrência dada a exposição e  $R_{SEV.|OCOR.}$  é a severidade associada ao risco dada a ocorrência. A multiplicação resulta num valor para uma espécie e um movimento ( $R_{Movimento \cap Espécie}$ ), observado na equação 6.

$$R_{Movimento \cap Espécie} = R_{EXP.} \times R_{OCOR.|EXP.} \times R_{SEV.|OCOR.} \quad (6)$$

Ao somar todas as espécies, temos o risco total de um movimento, enquanto somando todos os movimentos temos o risco causado por uma espécie, isto é expresso nas equações 7 e 8. O índice n é o número total de espécies e o índice j é o número total de movimentos.

$$R_{Movimento} = \sum_1^n R_{Movimento \cap Espécie} \quad (7)$$

$$R_{Espécie} = \sum_1^j R_{Movimento \cap Espécie} \quad (8)$$

Sendo assim, é possível calcular o risco total do aeródromo através da Equação 9, onde n é o número total de espécies e j é o número total de movimentos.

$$R_{Pista} = \sum_1^n \sum_1^j R_{Movimento \cap Espécie} \quad (9)$$



O valor apontado por  $R_{\text{Pista}}$  permite classificar os aeroportos, e até pistas diferentes de um mesmo aeroporto, em relação ao risco de colisões.

O principal problema não solucionado pelo indicador de Schlickmann e Calil (2017) é justamente o objetivo do método desenvolvido neste trabalho, relacionar o valor calculado pelo indicador com um custo esperado e escalas justificadas.

## 2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Os trabalhos apresentados têm a mesma finalidade: auxiliar operadores de aeródromos na identificação de risco de acontecer uma colisão. Com diferentes abordagens e considerações, autores trazem alguns pontos ambíguos e algumas escolhas não são claramente justificadas, abordadas nos parágrafos a seguir.

Dolbeer, Wright e Cleary (2000) agrupam espécies sem um critério explicitado no texto, causando problemas caso sejam agrupadas de forma diferente, resultando em rankings diferentes. Outro ponto é a não eliminação das intersecções. Para o ranking por danos, são separadas colisões com dano severo, colisões com dano, e efeito em voo. Podendo haver intersecção entre esses dados, ocasionando um resultado que poderia ser superestimado ou subestimado, uma vez que colisões com dano severo se encaixam em colisão com dano, e muito provavelmente tem efeito em voo, tendo intersecção entre as três categorias. Mesmo utilizando-se dados exatamente iguais, a reprodução dos rankings seria diferente, com discrepâncias que levariam a uma diferente conclusão, por exemplo, de que espécie é a mais perigosa.

Por sua vez, Carter (2001) também busca um ranking de espécies mais nocivas à aviação em cada aeroporto, as críticas valem igualmente para a IS 164-01A (ANAC, 2015), dado que o método é o mesmo. A primeira ressalva a ser feita é que cada categoria deve receber um valor de 1 a 100, a ser estipulado por cada pessoa aplicando o método. Sendo assim, cada pessoa aplicando possui uma percepção diferente, resultando em listas diferentes de espécies-problema. Os problemas encontrados em Dolbeer, Wright e Cleary (2000), sobre intersecção de dados envolvendo colisões e colisões com dano e também sobre agrupamento de espécies, se repetem, mais uma vez prejudicando uma abordagem clara e objetiva. O fato de aplicar logaritmo após multiplicação das categorias não é justificado, nem mostra relação

com algum dado empírico. O conceito de severidade relativa pode confundir devido ao fato do percentual ser relativo à espécie com  $R$  mais alto, permitindo somente a classificação entre as espécies e não se uma espécie causa duas ou três vezes mais risco que outra, podendo subestimar uma espécie ou outra.

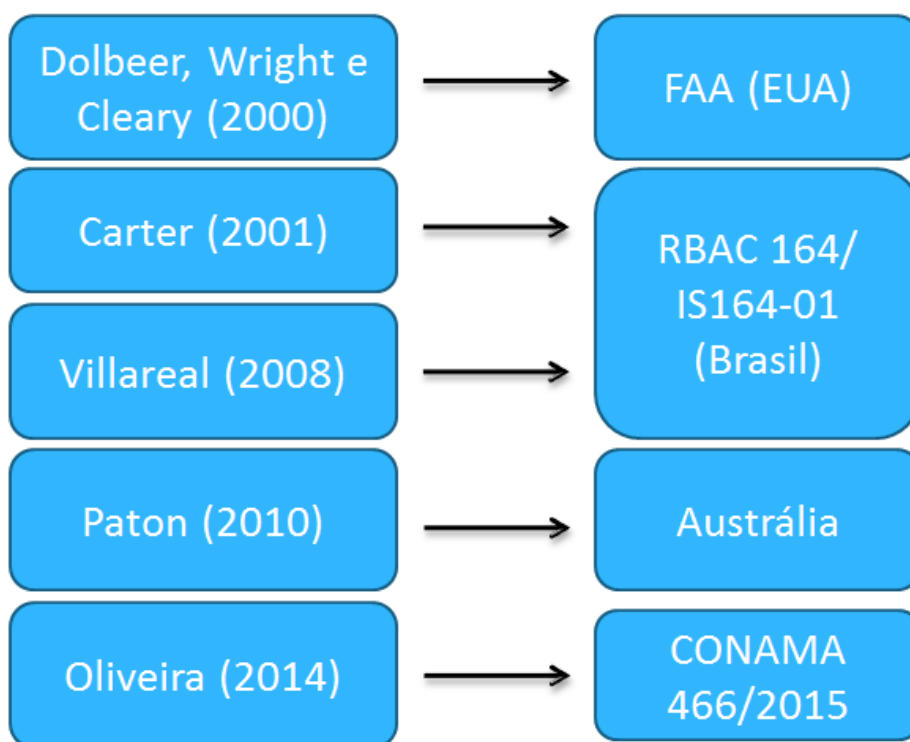
Villareal (2008) faz uma análise do risco e também lista as espécies-problema. A autora propõe métodos mais objetivos na classificação de espécies, comparado a Dolbeer, Wright e Cleary (2000) e Carter (2001), com divisão por tamanho, características de agrupamento bem definidas. Uma das matrizes a serem aplicadas, permite avaliação que resulta em grau de risco, levando a que tipo de atitude o operador do aeródromo deve tomar. No entanto, o fato de não mostrar números, somente graus de risco, não permite a avaliação entre aeroportos, fator que nenhum dos trabalhos discutidos permite, exceto Schlickmann e Calil (2017) que tentam uma abordagem a fim de comparar aeródromos. As comparações não são possíveis dado que cada local é tratado de forma específica, considerando julgamentos e percepções únicas de quem está analisando o risco em cada aeródromo, e também ao fato de não se ter um método único e objetivo para todo o país, ficando subjetivo a aplicação dos métodos já existentes.

Os fatores utilizados por Paton (2010) respeitam a regra 2<sup>a</sup> para determinação dos níveis, fato não justificado pelo autor, porém cada categoria tem suas características bem definidas, sendo objetiva a aplicação de classificação de espécies-problema. Diferente de Dolbeer, Wright e Cleary (2000) e Carter (2001), Paton (2010) não agrupa as espécies, sendo cada espécie abordada individualmente.

Oliveira (2014) fala de probabilidade e severidade em seu método. Utiliza-se de dados de histórico de colisão para cálculo do indicador e de severidade relativa, conceito de Carter (2001), mantendo a análise já feita sobre esse conceito. Dessa forma, o indicador tenta classificar o aeródromo em graus de risco e ações a serem tomadas, assim como Villareal (2008), mais uma vez permitindo a análise do risco local, mas não entre aeródromos. A CONAMA 466/2015 apresenta o método desenvolvido por Oliveira (2014).

A figura 3 apresenta um resumo dos métodos e a quem influenciam ou são influenciadas.

Figura 3 – Resumo dos Indicadores de Risco de Fauna abordados



Fonte: Autor (2018)

Por fim, Schlickmann e Calil (2017) desenvolveram um indicador para que seja feita uma análise simplificada de probabilidade e severidade, que leva em consideração a característica de cada espécie, o censo populacional, e também o horário de movimentação das aeronaves. Esse indicador, diferente de outros, não pretende somente classificar espécies-problema ou grau de risco de aeródromos, mas também permitir comparação entre aeroportos. Exceto o fator massa, os demais fatores não tem justificativa para o valor de suas escalas - por exemplo, não há um porquê de uma ave que enfrenta a aeronave é sete vezes mais perigosa que uma ave empoleirada - e justamente é esse o objetivo deste trabalho: utilizando o histórico de colisões, desenvolver um método para relacionar custos envolvidos com o valor do indicador, para que, com mais dados e mais completos, as escalas dos fatores sejam definidas.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

Este trabalho consiste em pesquisa experimental, onde, a característica essencial

[...] é o fato de o investigador trabalhar com variáveis independentes como elas se encontram na natureza, ou seja, não há manipulação delas. O pesquisador observa os efeitos das mesmas sobre a variável dependente como estes ocorrem na natureza. (ACEVEDO; NOHARA, 2013, p. 75).

Pois o histórico de colisões, variável independente, influenciará na determinação dos valores de cada fator, variáveis dependentes, tornando o modelo uma representação da realidade.

Para encontrar as relações entre o histórico e os fatores, dados foram obtidos na base de dados do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) da Força Aérea Brasileira (FAB) e com especialista da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). Esses dados foram processados em planilhas eletrônicas com finalidade de filtrar somente as informações úteis para aplicar na calibração do indicador.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES

Primeiramente, é preciso catalogar as espécies existentes, ou a serem consideradas, no aeródromo analisado. Foram catalogadas 67 espécies, encontradas no Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola em Joinville, Santa Catarina (SBJV). Cada espécie possui uma massa típica e comportamentos sobre desvio, agrupamento e atividade de acordo com o horário. Portanto, numa planilha eletrônica, classificam-se as características das espécies levantadas.

A figura 4 mostra um exemplo da planilha para características de desvio (d), massa típica (mt) e agrupamento (g). Esses três fatores não se alteram em diferentes horários ao longo do dia, são fixos para uma mesma espécie. Nesta etapa, os valores para fator d e fator g, não representam a escala, que é o objetivo final do método, mas sim qual nível representa.

Schlickmann e Calil (2017) dividiram o fator d em:

- 1 - Não entra em rota de colisão
- 2 - Facilidade no desvio
- 3 - Dificuldade no desvio
- 4 - Afronta a aeronave

O fator g, segundo Schlickmann e Calil (2017), é dividido em:

- 1 - Não se movimenta em bando
- 2 - Raramente se movimenta em bando
- 3 - Tipicamente se movimenta em bando

A massa típica é dada em gramas.

Figura 4 – Exemplo de planilha para classificação de características de desvio, massa típica e agrupamento

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3	n ▼	Nome científico ▼	Nome comum ▼	d ▼	mt ▼	g ▼	
4	1	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	pé-vermelho	2	415	2	
5	2	<i>Anas bahamensis</i>	marreca-toicinho	2	435	2	
6	3	<i>Anthus lutescens</i>	caminheiro-zumbidor	3	16	1	
7	4	<i>Aramides cajaneus</i>	saracura-três-potes	2	408	1	

Fonte: INFRAERO (2018)

Observa-se, na figura 4, que a espécie *Amazonetta brasiliensis* possui uma massa típica de 415g, raramente se movimenta em bando e tem facilidade no desvio, enquanto os indivíduos de *Anthus lutescens* têm 16g de massa típica, têm dificuldade em desviar das aeronaves e não se movimentam em bando. E assim as características das demais espécies são determinadas.

O fator t (tempo em atividade) pode assumir diferentes valores conforme o horário. Há espécies que são mais ativas durante a noite, outras no alvorecer do dia, e ainda entre as espécies que são mais ativas no mesmo período, há diferenças no comportamento podendo uma espécie ser mais ativa que outra.

O dia é separado em cinco faixas de horário por Schlickmann e Calil (2017):

- A) De 00:00 a 05:00
- B) De 05:00 a 08:00
- C) De 08:00 a 17:00
- D) De 17:00 a 20:00
- E) De 20:00 a 24:00

Para o fator t, Schlickmann e Calil (2017) definiram os níveis em:

- 1 - Animal terrestre/ espécie empoleirada somente
- 2 - Espécie pouco ativa
- 3 - Espécie ativa na maior parte do tempo

A figura 5 exemplifica os níveis para as mesmas espécies da figura 4 para as faixas de horário determinadas por Schlickmann e Calil (2017). Faz-se necessário ressaltar que os valores nas planilhas somente representam o nível do fator, e não a escala utilizada no índice.

Figura 5 – Exemplo de planilha de classificação do fator t conforme a faixa de horário

	A	B	C	J	K	L	M	N
2				A	B	C	D	E
3	n	Nome científico	Nome comum	0:00	5:00	8:00	17:00	20:00
4	1	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	pé-vermelho	1	2	2	2	1
5	2	<i>Anas bahamensis</i>	marreca-toicinho	1	2	2	2	1
6	3	<i>Anthus lutescens</i>	caminheiro-zumbidor	1	3	2	3	1
7	4	<i>Aramides cajaneus</i>	saracura-três-potes	1	2	2	2	1

Fonte: INFRAERO (2018)

Comparando as características encontradas na figura 5, nota-se que nas faixas A e E, as quatro espécies estão empoleiradas. Nas faixas B, C e D, as espécies *Amazonetta brasiliensis*, *Anas bahamensis* e *Aramides cajaneus* apresentam o mesmo comportamento, são espécies pouco ativas. Os animais da espécie *Anthus lutescens* são muito ativos nas faixas B e D, e pouco ativos na faixa C.

Assim, as planilhas foram formadas, determinando os níveis de cada fator para cada espécie, para que os valores possam ser inseridos no algoritmo desenvolvido.

### 3.2 CENSO POPULACIONAL

Os dados de censo também foram tratados em planilhas eletrônicas para serem inseridos no algoritmo. Conforme orientação de Schlickmann e Calil (2017), para o cálculo do indicador, deve-se utilizar o censo mais recente, ou seja, caso não tenha censo para o dia em questão, o censo anterior mais próximo é considerado.

A figura 6 ilustra os dados para o censo a ser considerado nos primeiros dez dias do ano de 2014, para seis espécies.

Figura 6 – Exemplo de planilha para tratamento de dados sobre censo populacional

	A	B	C	D	E	AU	BD	BO
1		N	1	2	3	45	54	65
2		Nome Científico	Amazonetta brasiliensis	Anas bahamensis	Anthus lutescens	Phimosus infuscatus	Sturnella supercilialis	Vanellus chilensis
3	Data	CENSO NO DIA	POPULAÇÃO					
4	01/01/2014	SIM	0	0	2	6	27	91
5	02/01/2014	SIM	0	0	3	20	10	82
6	03/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
7	04/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
8	05/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
9	06/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
10	07/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
11	08/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
12	09/01/2014	NÃO	0	0	3	20	10	82
13	10/01/2014	SIM	0	0	3	0	5	127

Fonte: INFRAERO (2018)

Percebe-se que, pela figura 6, entre 01/01/2014 e 10/01/2014, foram realizados três censos, sendo que do dia 03/01/2014 ao dia 09/01/2014 não foi possível obter dados populacionais. Portanto, para os dias sem censo, os dados considerados são relativos ao dia 02/01/2014, o mais próximo realizado.

Ao ser produzido novos dados, com o censo do dia 10/01/2014, mudam as populações de cada espécie, que só se alterarão com um novo censo. Os dados obtidos referem-se ao período de 01/01/2014 a 31/12/2015.

### 3.3 MOVIMENTOS

Schlickmann e Calil (2017) nomearam movimento para referirem-se a pousos e decolagens, bem como tentativas não sucedidas. Cada movimento tem três informações relevantes para o cálculo do indicador: data do movimento, classe de horário e tipo de aeronave.

A data é importante para o censo a ser empregado no cálculo do indicador, para captar alguma sazonalidade de presença das espécies.

A classe de horário é a mesma das espécies, definindo assim a que comportamento de espécies o movimento está submetido.

O tipo de aeronave influencia no cálculo do fator m (massa), que é diferenciado para aeronaves turbofan e turboélice.

A figura 7 apresenta um exemplo para alguns dos movimentos ocorridos no mês de janeiro de 2014.

Figura 7 – Exemplo de planilha para manipulação de dados de movimentos

	A	B	E	L	M	N
1	J	Tipo	TIPO AERONAVE	Hora.efetivo	Hora	Classe de Horário
2	1	Pouso	Turbofan	01/01/2014 07:43	07:43:00	2
3	2	Decolagem	Turbofan	01/01/2014 08:42	08:42:00	3
4	3	Decolagem	Turboélice	01/01/2014 10:28	10:28:00	3
5	4	Decolagem	Turboélice	01/01/2014 10:33	10:33:00	3
6	5	Pouso	Turbofan	01/01/2014 11:17	11:17:00	3
7	6	Decolagem	Turbofan	01/01/2014 11:50	11:50:00	3
8	7	Pouso	Turbofan	01/01/2014 18:49	18:49:00	4
9	8	Pouso	Turbofan	01/01/2014 18:57	18:57:00	4
10	9	Pouso	Turboélice	01/01/2014 19:22	19:22:00	4
11	10	Decolagem	Turbofan	01/01/2014 19:27	19:27:00	4
12	11	Decolagem	Turbofan	01/01/2014 19:33	19:33:00	4
13	12	Decolagem	Turboélice	01/01/2014 19:56	19:56:00	4
14	13	Pouso	Turbofan	01/01/2014 22:40	22:40:00	5
15	14	Decolagem	Turbofan	02/01/2014 06:16	06:16:00	2
16	15	Pouso	Turbofan	02/01/2014 07:55	07:55:00	2
17	16	Decolagem	Turbofan	02/01/2014 08:42	08:42:00	3
18	17	Pouso	Turboélice	02/01/2014 10:07	10:07:00	3

Fonte: INFRAERO (2018)

Esse procedimento estende-se para todos os movimentos ocorridos em SBJV entre 01/01/2014 e 31/12/2015, mesmo período dos dados sobre populações das espécies.



Por conta da quantidade de movimentos que um aeroporto pode ter, preferiu-se manter uma planilha de movimentos para cada mês, pois somente em SBJV são cerca de 600 movimentos/mês, logo, um aeroporto com maior movimentação, uma planilha única teria muito mais linhas, dificultando no tratamento dos dados.

### 3.4 HISTÓRICO DE COLISÕES

O site do CENIPA dá livre acesso ao banco de dados sobre colisões com fauna reportadas no Brasil. A figura 8 reproduz parte da página da pesquisa de dados no sistema do CENIPA.

Figura 8 – Reprodução de parte da página da base de dados do CENIPA sobre colisão com fauna

A imagem mostra a interface web do "Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário - Sigra", desenvolvido pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. O cabeçalho exibe o nome do sistema e o nome do centro. Abaixo, há uma seção para "Escolha as opções abaixo para a Pesquisa de Dados:" com flags do Reino Unido e do Brasil, e um link "logar". Os campos de busca incluem: "Código do Reporte:" e "Matrícula:" (campos de texto); "Ano:" (menu suspenso com um ícone de ajuda); "Data Inicial:" e "Data Final:" (campos de data com máscara 00/00); "Aeródromo:" (campo de texto); e "Tipo de Reporte:" (menu suspenso). Há também um link "Escolher critérios adicionais" com um ícone de mais. Um botão azul "Executar pesquisa" está centralizado. Na base da interface, informa-se "Total de Registro(s): 4174" e oferece a opção "Exportar sua pesquisa" com um ícone de arquivo. À direita, há uma barra de paginação com links para as páginas 1, 2, 3, 4, 5, 34, 35 e um link "Próxima »".

Fonte: Brasil (2018)

Os dados podem ser filtrados por aeródromo, período, tipo de reporte (avistamento, quase colisão, colisão), matrícula da aeronave.

Após a seleção do período e do aeródromo de interesse, os dados foram exportados em planilhas eletrônicas, para serem analisados, exibido na figura 9.

Figura 9 – Exemplo de planilha com dados obtidos na Base de dados sobre colisão com fauna do CENIPA

4	Tipo de Reporte	Data do evento	Anv - Modelo	Parte atingida / danificada
5	Type of report ▼	Date of event ▼	Acft - Model ▼	Struck-part / Damaged-part ▼
6	colisão	06/01/2014	E190/195/VC2	
7	colisão	06/01/2014	E190/195/VC2	trem de pouso atingido
8	colisão	12/01/2014	E190/195/VC2	outraAtingida
9	avistamento	02/02/2014	0 Desconhecido (UNKNOWN)	
10	colisão	11/02/2014	ATR 72 Familia (Family ATR 72)	hélice(s) atingida(s)
11	colisão	22/02/2014	ATR 72 Familia (Family ATR 72)	outraAtingida
12	colisão	16/03/2014	E190/195/VC2	asa/rotor atingida
13	colisão	18/03/2014	ATR 72 Familia (Family ATR 72)	fuselagem atingida
14	colisão	22/03/2014	A 310/318/319/320/321 Family	outraAtingida
15	colisão	24/03/2014	A 310/318/319/320/321 Family	pára-brisa atingido
16	colisão	26/03/2014	B 737 Familia (Family Boeing 737)	outraAtingida
17	colisão	30/03/2014	E190/195/VC2	outraAtingida
18	colisão	30/03/2014	B 737 Familia (Family Boeing 737)	outraAtingida
19	colisão	31/03/2014	E190/195/VC2	trem de pouso atingido
20	colisão	05/04/2014	A 310/318/319/320/321 Family	outraAtingida
21	colisão	15/04/2014	E190/195/VC2	motor(es) atingido(s)

Fonte: Brasil (2018)

Neste trabalho, somente colisões foram consideradas, dado que não há custos associados aos avistamentos, e nenhuma quase colisão foi reportada nos anos de 2014 e 2015 em SBJV, fatos que deveriam ser tratados diferentemente caso existissem.

Como os dados não contemplam custos associados devido às colisões, atribuiu-se valores estimados num intervalo de US\$10.000,00 a US\$1.000.000,00 para cada colisão, explicitados no Apêndice A. Sendo o valor mais baixo equivalente a um reparo na fuselagem, e o valor mais alto para um motor atingido, considerando 10% do valor de um motor jato novo. (VAN DAMME, STOLK-OELE, 2017). Para uma representatividade real, custos diretos e indiretos deveriam ser indicados junto ao reporte de colisão quando feito pela companhia aérea, ou complementado pela companhia, quando o reporte é produzido pelos operadores de aeródromos. (OLIVEIRA, 2014)

### 3.5 SIMULAÇÃO

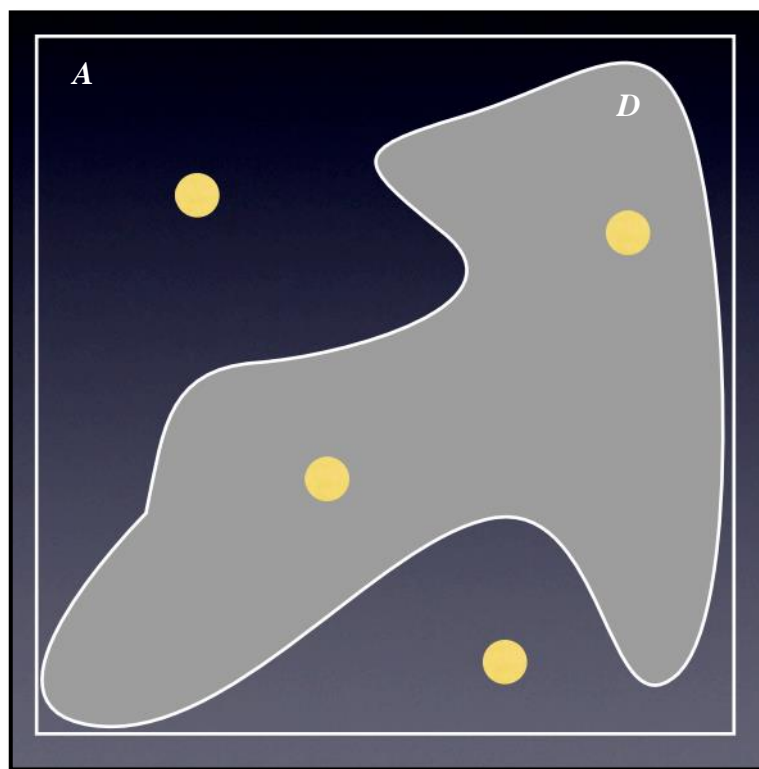
#### 3.5.1 Método de Monte Carlo

O termo método de Monte Carlo tem sua origem nos laboratórios do Projeto Manhattan na década de 1940, onde os físicos Stanislaw Ulam, Enrico Fermi, John von Neumann e Nicholas Metropolis deram esse nome por conta de processos aleatórios em jogos no Cassino Monte Carlo em Mônaco. (KATZGRABER, 2011) (METROPOLIS, 1987).

Segundo Dimov (2008), o método de Monte Carlo consiste em soluções aproximadas de problemas de matemática computacional, usando processos aleatórios, garantindo que o erro de aproximação por Monte Carlo seja menor que um dado valor com probabilidade conhecida.

Um exemplo simples e prático para o uso de Monte Carlo é o cálculo de áreas. Tem-se a seguinte situação: Um retângulo de área  $A$  conhecida, e uma forma qualquer, de área desconhecida  $D$ , contida no retângulo, como representado na figura 10.

Figura 10 – Retângulo de área  $A$  contendo forma com área desconhecida  $D$



Fonte: Kaldor (2008)

Produzem-se pontos aleatórios, distribuídos uniformemente, dentro do retângulo de área  $A$ , e verificam-se quantos pontos estão dentro do objeto de área desconhecida  $D$ . Então, a aproximação da área  $D$  é feita pela equação 10. (KALDOR, 2008).

$$\text{Área } D = \frac{(p \cdot A)}{n} \quad (10)$$

Onde,  $p$  = número de pontos dentro da área desconhecida,

$A$  = área conhecida do retângulo,

$n$  = número total de pontos.

Dessa forma, obtém-se um valor muito próximo do real para a área desconhecida, utilizando-se de números aleatórios. Portanto, Monte Carlo é uma ferramenta eficiente para buscar relações não conhecidas, e de difícil abordagem, através de simulação numérica a partir de aleatoriedades.

Neste trabalho, Monte Carlo é usado para geração dos números aleatórios a fim de procurar as escalas dos fatores do indicador de Schlickmann e Calil (2017) que gerem o melhor  $R^2$ .

O código em MATLAB R2013a® possui a função *randi*, que gera números inteiros pseudoaleatórios de distribuição uniforme entre um intervalo definido, neste trabalho [1;100]. Para uma maior variedade de números gerados pela função *randi*, a função *rng('shuffle')* alimenta a função geradora de forma a produzir uma sequência diferente de números a cada iteração. (MATHWORKS, 2013).

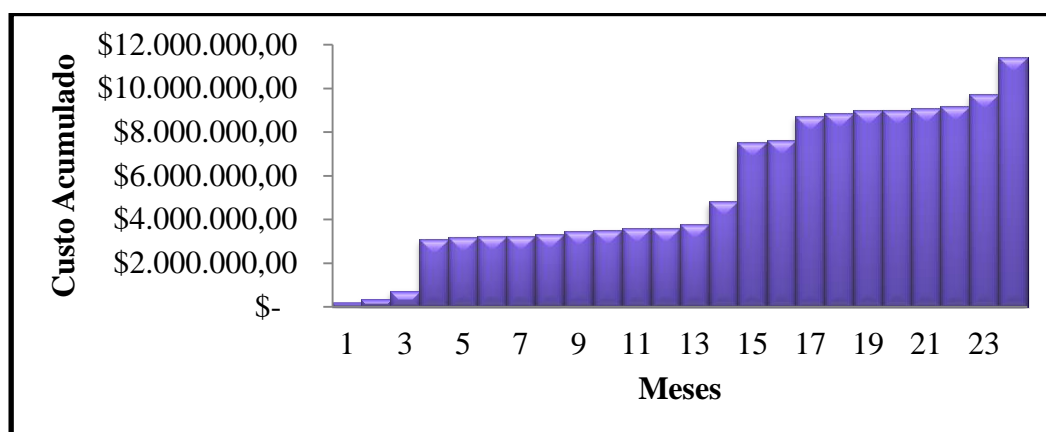
### 3.5.2 Regressão Linear

Análise de regressão é uma técnica que relaciona duas ou mais variáveis. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009). Neste trabalho, a regressão é a partir de um conjunto de pontos de custos de colisões passadas e o valor calculado pelo indicador proposto por Schlickmann e Calil (2017) que não possuem uma relação estabelecida.

De acordo com Montgomery e Runger (2009, p.237), regressão linear simples consiste na relação entre “um único regressor ou preditor  $x$  e uma variável dependente ou variável de resposta  $Y$ ”. Dessa forma,  $Y$  é o valor de custo acumulado no período de análise associado ao valor  $x$  calculado pelo indicador acumulado no mesmo período.

Acumulam-se os valores de meses anteriores tanto para os custos estimados como para os valores de indicador. A figura 11 mostra a evolução mensal dos custos acumulados por danos devido a colisões ao longo dos 24 meses entre 2014 e 2015. Quando há um degrau mais alto, deve-se a uma colisão mais grave, com custo maior, ou mais colisões que somadas resultam num mês mais custoso.

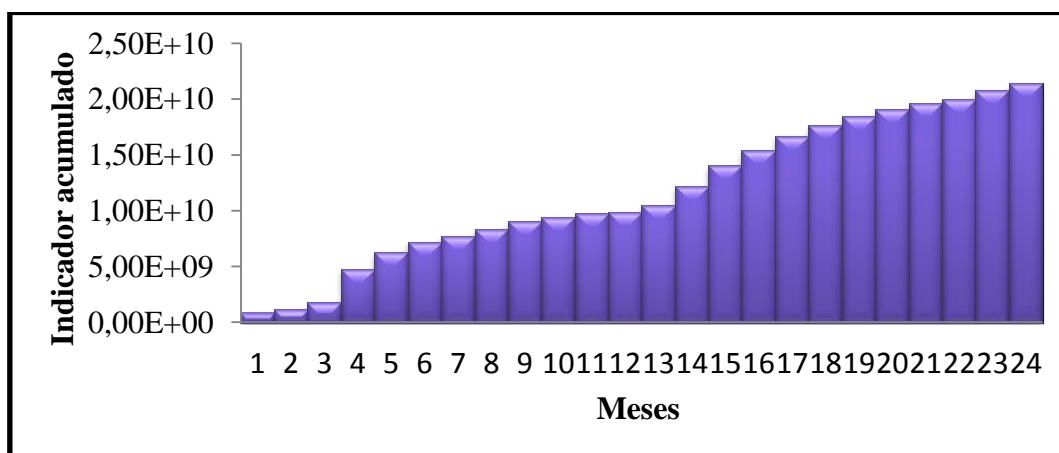
Figura 11 – Custo estimado acumulado por danos em colisões ao longo dos 24 meses analisados



Fonte: Autor (2018)

O comportamento dos valores do indicador ao longo dos meses é mostrado na figura 12. Os degraus mais altos mostram que houve aumento considerável da presença de animais sendo detectado pelo indicador.

Figura 12 – Valores acumulados de indicador para um dos casos simulados para os 24 meses analisados



Fonte: Autor (2018)

A escala de fatores utilizada para a figura 12 é ‘g’ [2, 57, 58], ‘t’[59, 80, 85] e ‘d’ [20, 24, 26, 29].

A equação 11, então, modela a relação entre  $x$  e  $Y$  por uma reta mais um erro associado, onde  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são os coeficientes da reta e  $\epsilon$  é o erro associado – aleatório com média zero e variância  $\sigma^2$ . (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (11)$$

Para estimar os valores de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , utiliza-se do método de mínimos quadrados. Um conjunto de  $n$  pares de observações  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  podem ser representados pela equação 12. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Dessa forma, a soma dos quadrados dos desvios (erros) em relação à linha de regressão é dada pela equação 13. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 + \beta_1 x_i)^2 \quad (13)$$

Os estimadores de mínimos quadrados de  $\beta_0$  e  $\beta_1$ ,  $\beta_0^*$  e  $\beta_1^*$  têm de satisfazer as equações 14 e 15. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_0} \right|_{\beta_0^*, \beta_1^*} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0^* + \beta_1^* x_i) = 0 \quad (14)$$

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta_1} \right|_{\beta_0^*, \beta_1^*} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0^* + \beta_1^* x_i) x_i = 0 \quad (15)$$

Simplificando as equações 14 e 15, obtêm-se as equações 16 e 17, que são chamadas de equações normais de mínimos quadrados. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$n\beta_0^* + \beta_1^* \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (16)$$

$$\beta_0^* \sum_{i=1}^n x_i + \beta_1^* \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (17)$$

Por fim, os estimadores  $\beta_0^*$  e  $\beta_1^*$  resultam da solução das equações 16 e 17, encontrados nas equações 18 e 19. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$\beta_0^* = \bar{y} + \beta_1^* \bar{x} \quad (18)$$

Onde  $\bar{y}$  é média aritmética dos valores de  $y$  e  $\bar{x}$  é a média aritmética dos valores de  $x$ .

$$\beta_1^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \quad (19)$$

Assim a linha de regressão obtida é encontrada na equação 20. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$\hat{y} = \beta_0^* + \beta_1^* x \quad (20)$$

O MATLAB R2013a® possui função que determina os termos da regressão linear simples chamada *polyfit*. Essa função foi utilizada no desenvolvimento do algoritmo.

### 3.5.3 Coeficiente de determinação ( $R^2$ )

O coeficiente de determinação ou  $R^2$  é utilizado para verificar a adequação da regressão linear. Esse valor fica entre 0 e 1, sendo 0 (zero) onde o modelo não explica nenhuma relação dos dados e 1 quando a regressão explica totalmente os dados. Portanto, busca-se uma relação com  $R^2$  mais perto de 1 possível. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

Para obtenção do  $R^2$ , calcula-se a soma dos quadrados do erro associado ( $SQ_E$ ) e a soma total dos erros quadrados ( $SQ_T$ ), encontrados nas equações 21 e 22. (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$SQ_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (21)$$

$$SQ_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (22)$$

Após  $SQ_E$  e  $SQ_T$  calculados, substituem-se os valores na equação 23, conseguindo o valor para  $R^2$ . (MONTGOMERY; RUNGER, 2009).

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_E}{SQ_T} \quad (23)$$

O algoritmo desenvolvido calcula o  $R^2$  ao final de cada iteração, salvando o melhor valor obtido, e as escalas que o resultaram.

### 3.5.4 Algoritmo

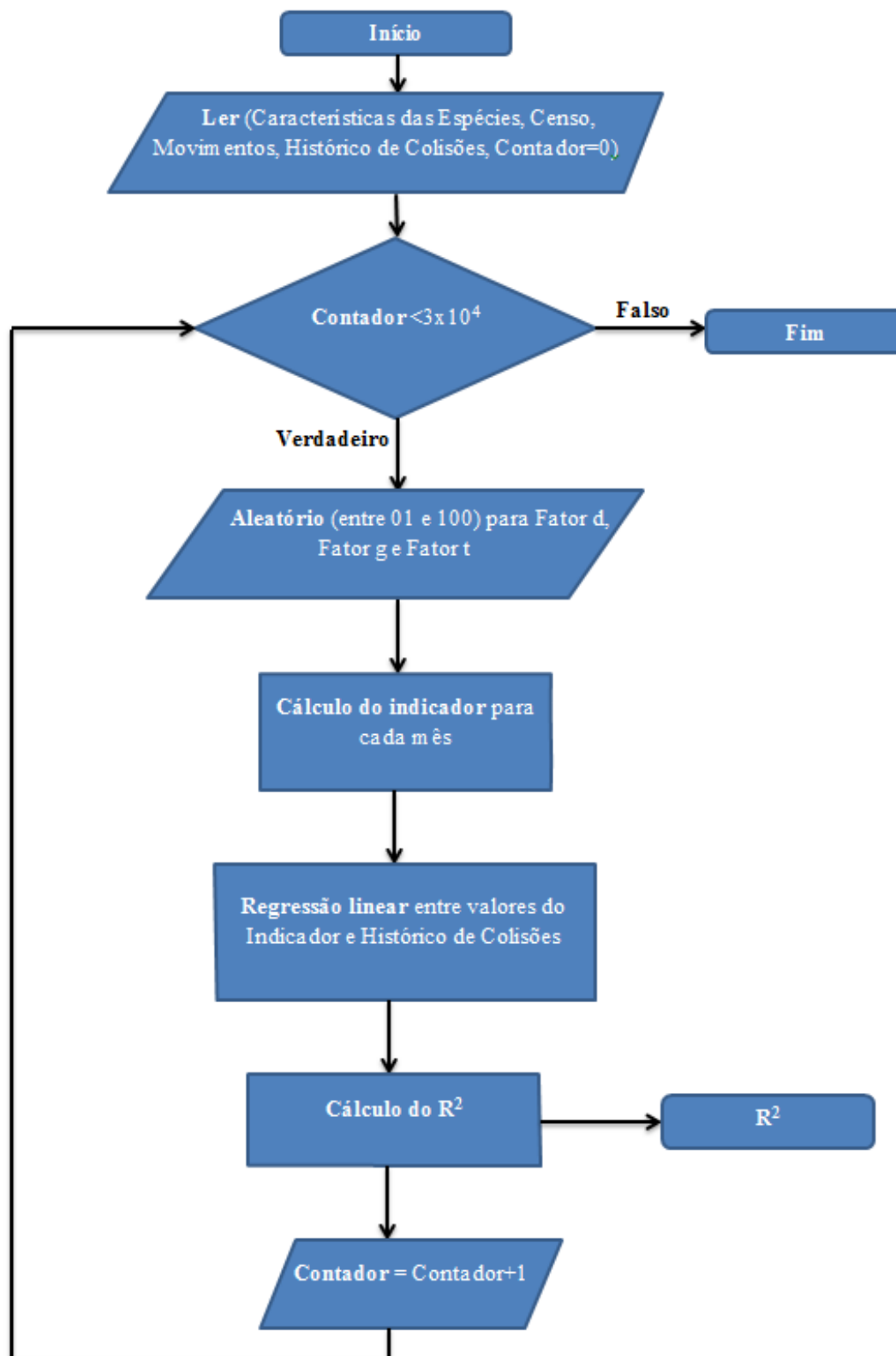
O algoritmo desenvolvido em MATLAB R2013a® consiste em três partes principais: leitura de dados, cálculo do indicador, regressão linear e  $R^2$ .

A leitura de dados extrai os dados das planilhas eletrônicas onde os dados sobre características e censo das espécies, movimentações e colisões foram tratados. Movimentos e colisões são agrupados por mês, pois o indicador será calculado por mês.

Após a leitura dos dados, o passo seguinte são iterações para cálculo do indicador mês a mês, atribuindo valores aleatórios, diferentes a cada iteração, de escala dos fatores d (desvio), g (agrupamento) e t (tempo em atividade). O fator m (massa) independe das escalas, dependendo somente da classe de horário do movimento e do tipo de aeronave, ou seja, não se altera dentro da mesma iteração. Analogamente, o fator p (população) permanece constante em uma mesma iteração. A figura 13 mostra o fluxograma do algoritmo em MATLAB R2013a®.



Figura 13 – Fluxograma do algoritmo para definição de escala dos fatores d, g e t



Fonte: Autor (2018)

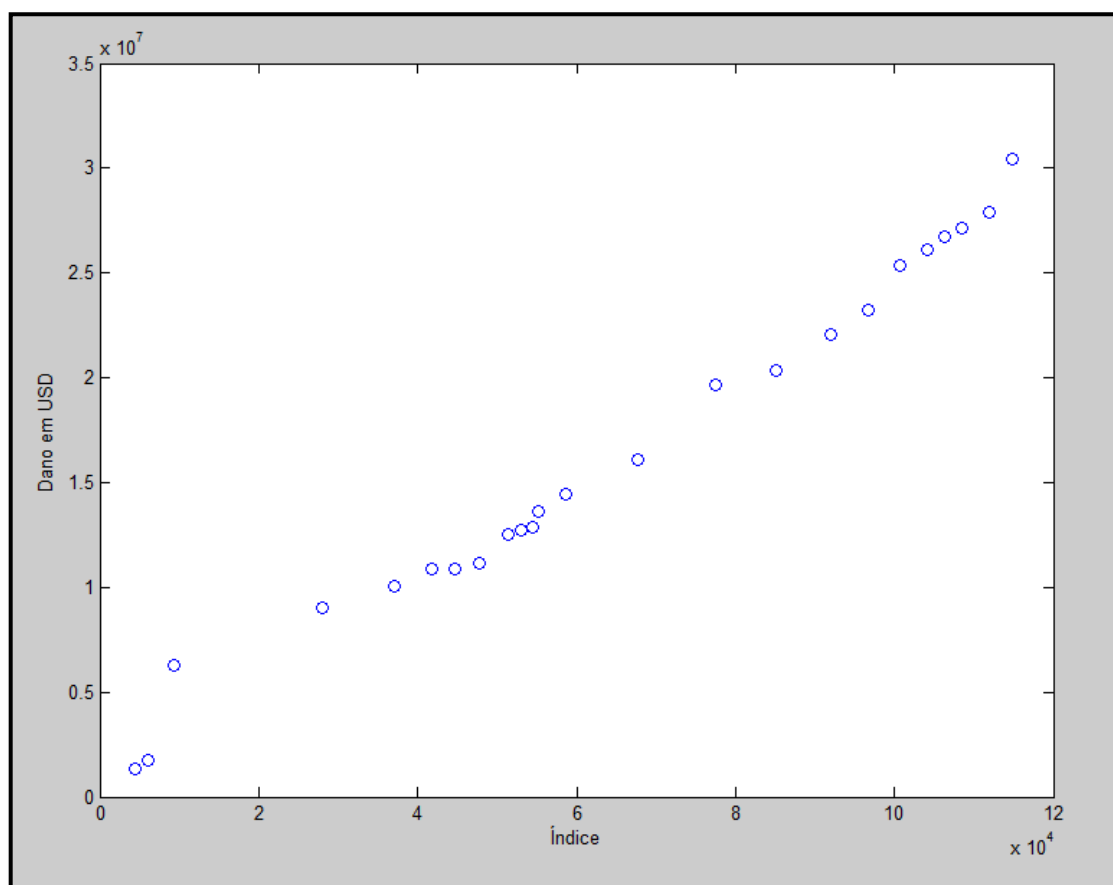
Assim, 30mil iterações foram realizadas e são apresentadas e analisadas no capítulo 4. O desenvolvimento do algoritmo tem com finalidade buscar os melhores  $R^2$  para definir os valores das escalas dos fatores 'd', 't' e 'g' que melhor representam a realidade de cada aeródromo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após alguns milhares de iterações, com o cálculo da forma proposta por Schlickmann e Calil (2017), reparou-se que os valores de  $R^2$  estavam muito altos e com pouca variação, entre 0,9844 e 0,9876. Fato devido à normalização dos fatores, pois assim, independente dos valores aleatoriamente atribuídos, o padrão obtido variava pouco, alterando unicamente a escala dos valores, visível nas figuras 14 e 15. Nessas primeiras iterações, o custo era aleatório, pois inicialmente não foram feitas estimativas de custo – mas foram gerados números aleatórios para cada colisão no intervalo de US\$10.000 a US\$1.000.000, e não estimado, como fala a seção 3.4 –, esse fato elevou os valores calculados de  $R^2$ .

Na figura 14, o eixo das abscissas apresenta o somatório dos valores dos indicadores até um determinado mês, enquanto o eixo das ordenadas apresenta o custo acumulado decorrente das colisões no mesmo período. O  $R^2$  obtido foi de 0,9844 e o valor acumulado ao final dos 24 meses pelo indicador é de  $1,15 \times 10^5$ , com fator d composto por [22, 49, 52, 83], fator g composto por [75, 89, 95] e fator t [10, 26, 64].

Figura 14 – Custo, em USD, acumulado em decorrência de colisões x Índice acumulado com um  $R^2$  de 0,9844

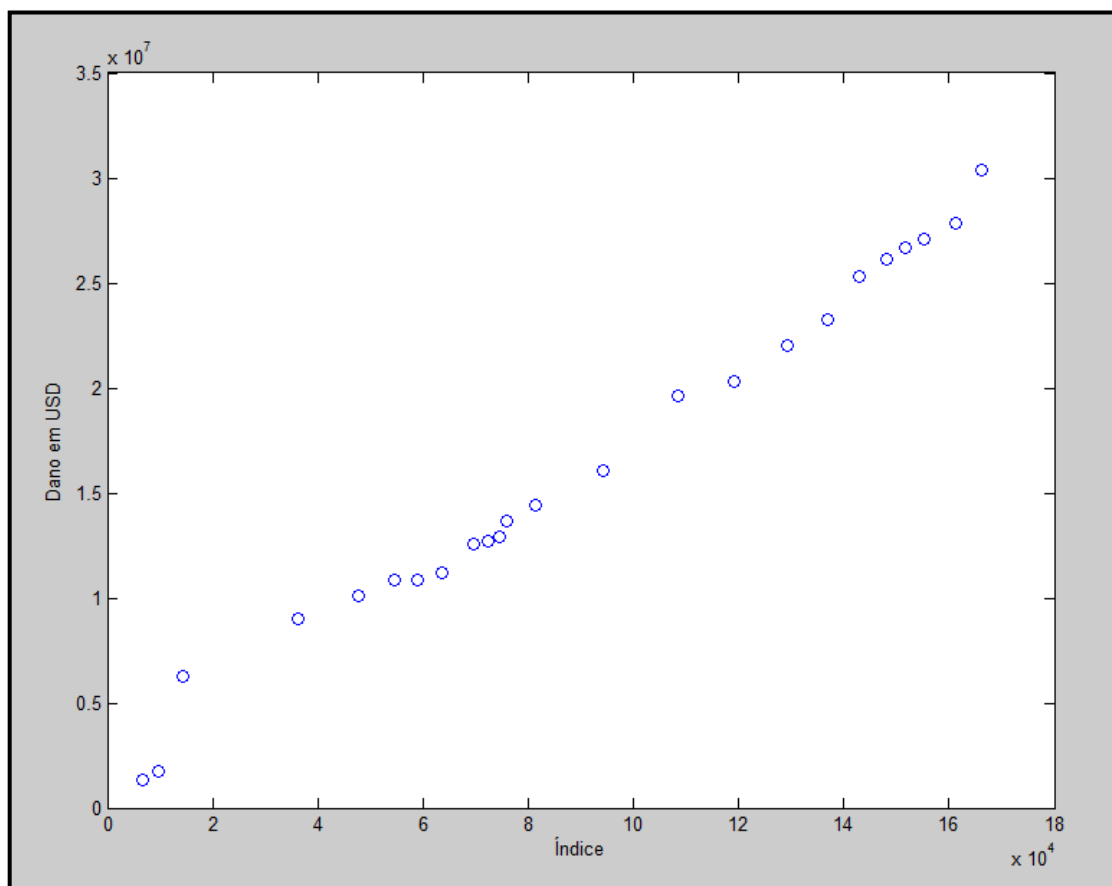


Fonte: Autor (2018)

Já a figura 15 traz um  $R^2$  de 0,9876, com um índice acumulado em dois anos de  $1,66 \times 10^5$ . Para esse caso os fatores são:

- d [22, 64, 65, 66]
- g [51, 88, 90]
- t [76, 77, 85]

Figura 15 – Custo, em USD, acumulado em decorrência de colisões x Índice acumulado com um  $R^2$  de 0,9876



Fonte: Autor (2018)

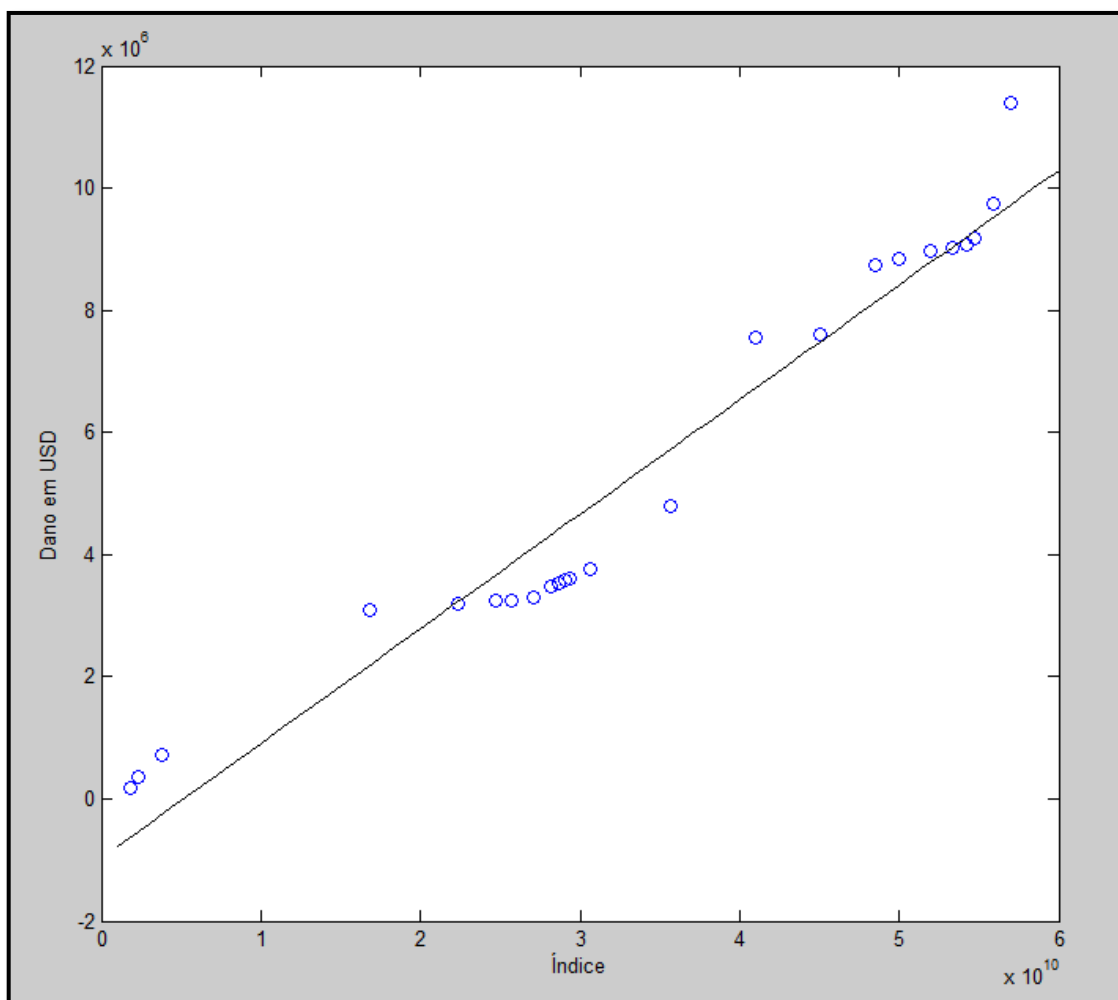
A comparação entre os valores levou à primeira mudança no cálculo do indicador: a retirada da normalização. Antes, por exemplo, a equação (3) tem uma divisão por 5, que passa a não existir. Analogamente, a equação (4) não divide por 7, nem a equação (5) por 2.

Sendo assim, os valores atribuídos não são divididos pelo maior valor que o fator pode assumir, trazendo uma variação maior para valores de  $R^2$ , mas também ocasionou uma queda nos valores de  $R^2$ . A partir dessa mudança, os custos das colisões passaram a ser estimados, conforme seção 3.4, outro motivo pela queda dos valores do coeficiente de determinação.

A não normalização também fez os valores acumulados, no cálculo do indicador, variarem mais, e com valores mais altos, mostrado na figura 16 que também apresenta a regressão linear da equação 24. Para essa iteração, as escalas dos fatores 'd', 'g' e 't' são, respectivamente, [17, 19, 80, 100], [28, 66, 84], [39, 83, 95].

$$\text{Custo esperado [USD]} = 1,87 * 10^{-4}(\text{Valor do Indicador}) - 967.761 \quad (24)$$

Figura 16 – Custo, em USD, acumulado em decorrência de colisões x Índice acumulado, sem normalização, com a regressão linear de  $R^2$  de 0,9457



Fonte: Autor (2018)

Fica evidente a mudança do comportamento do gráfico na figura 16, em comparação com as figuras 14 e 15, devido à alteração de custo aleatório para custo estimado. O indicador que antes era na ordem de  $10^5$ , passou para ordem de  $10^{10}$ , mas que varia bastante, dependendo das escalas dos fatores. A diferença de  $R^2$ , entre os casos das figuras 14 ( $R^2=0,9844$ ) e 16 ( $R^2=0,9457$ ), é de 0,04, uma queda representativa quando se comparam os casos das figuras 14 e 15, onde a diferença é de 0,0032.

Para essa nova rodada de iterações, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,9238 e 0,9620. Ainda bons valores de adequação a curva. A partir disso, realizou-se uma análise de

sensibilidade, discutida na seção 4.1, ponderando a relevância das escalas dos fatores, e sua importância dentro do cálculo do indicador.

#### 4.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A tabela 1 traz algumas iterações, com as escalas determinadas, e os respectivos  $R^2$ , todos utilizando os mesmos valores de custos estimados e população e características de espécies.

Tabela 1 – Escalas definidas por simulação e respectivos  $R^2$

Iteração	Fatores		R-Quadrado
1	"d"	32,70,84,86	0,9619
	"g"	29,65,91	
	"t"	77,80,92	
2	"d"	12,34,74,99	0,9494
	"g"	18,23,35	
	"t"	1,43,98	
3	"d"	8,10,84,99	0,9361
	"g"	12,49,77	
	"t"	44,71,76	
4	"d"	27,42,56,66	0,9582
	"g"	43,95,99	
	"t"	5,26,98	
5	"d"	26,41,62,78	0,9599
	"g"	14,98,99	
	"t"	45,58,69	
6	"d"	16,27,60,91	0,9408
	"g"	13,39,99	
	"t"	11,22,94	
7	"d"	8,24,30,51	0,9539
	"g"	19,57,86	
	"t"	17,17,58	
8	"d"	17,46,71,73	0,9572
	"g"	26,68,95	
	"t"	19,21,87	
9	"d"	20,24,71,86	0,9545
	"g"	64,74,78	
	"t"	42,77,80	
10	"d"	5,20,44,98	0,9497
	"g"	16,94,97	
	"t"	44,48,59	

Fonte: Autor (2018)

Nota-se através da tabela 1, que há pouca variação de valores entre as escalas de um mesmo fator. Na iteração de número 1, na tabela 1, o fator 't' varia de 77 a 92, e o fator 'd' possui pouca variação em 3 dos 4 valores da escala.

Ainda na tabela 1, a iteração 9 mostra um fator 'd' que poderia ser considerado apenas duas escalas, uma com valores [20,24] e outra [71,86], e pouca variação nas escalas dos fatores 'g' e 't'.

Essa pequena variação entre as escalas de um mesmo fator, mantendo um  $R^2$  consideravelmente alto, levou a outro tipo de análise que é o quanto cada fator influencia no cálculo final.

São 5 fatores: 'p', 'm', 'd', 't' e 'g', e criou-se 9 situações com exclusões de um ou mais fatores, mas fixando as escalas dos fatores 'd', 't' e 'g' para o cálculo do indicador, além da prevista envolvendo todos os fatores, conforme apresentado na seção 2.8, com a modificação apresentada no anteriormente neste capítulo. Sendo as situações encontradas a seguir, e sendo exemplificadas na tabela 2:

- I. Somente fatores 'p' e 'm';
- II. Somente fatores 'd', 't' e 'g';
- III. Somente fatores 'p', 'm' e 'g';
- IV. Somente fatores 'p', 'm' e 't';
- V. Exclusão do fator 'd';
- VI. Exclusão do fator 't';
- VII. Exclusão do fator 'g';
- VIII. Exclusão do fator 'p';
- IX. Exclusão do fator 'm'.

Tabela 2 –  $R^2$  para o cálculo completo e as nove situações

Iteração	Fatores		$R^2$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	"d"	32,70,84,86	0,9619	0,9630	0,9221	0,9632	0,9625	0,9626	0,9626	0,9625	0,9222	0,9601
	"g"	29,65,91										
	"t"	77,80,92										

Fonte: Autor (2018)

Após cem iterações, alguns comportamentos ficaram claros. Em 98 das 100 iterações, a situação I, somente fatores 'p' e 'm', produziu o melhor ou segundo melhor  $R^2$ ,



melhor até que a situação incluindo todos os fatores. Isso mostra a representatividade da população juntamente com a massa. E mesmo quando não foi o melhor ou segundo melhor caso, a situação I não teve diferença significativa em relação às com maior  $R^2$ , com variação apenas na terceira ou quarta casa decimal.

A predominância de ‘p’ e ‘m’ vai contra a premissa de que espécies com massas idênticas, mas com comportamentos diferentes, devem ser tratadas diferentemente. Espécies que afrontam a aeronave deveriam apresentar um valor mais representativo, fator ‘d’, em comparação com aquelas que ficam empoleiradas, ou de rápido desvio, pois, intuitivamente, aves que atacam, ou têm dificuldade em desviar das aeronaves, trariam mais risco, o que não foi captado pelas simulações. Dessa forma, a massa total (número de indivíduos x massa típica) passa a ser o fator mais válido para uma análise de risco em aeródromos.

Note-se que Dolbeer, Wright e Cleary (2000) chegaram a uma conclusão equivalente quando confrontaram seu indicador de severidade dos acidentes com a massa total. No entanto, a relação que eles obtiveram não era linear – além de não terem considerado a chance de ocorrência do incidente ao calcular o valor do indicador.

Destaca-se que o uso de indicador calculado exclusivamente pela massa total tem uma implicação interessante: o passado (histórico de colisões) não altera a chance de ocorrência de uma nova colisão, nem a severidade da colisão. Nesta situação, a única variável para o cálculo do risco é a massa total naquele momento, independentemente da massa total que foi observada no passado. Portanto o processo não tem memória.

O fato de não ter memória no processo opõe-se ao determinado por Oliveira (2014), e conseqüentemente, na CONAMA 466/2015, onde devem ser considerados dados sobre os últimos cinco anos para avaliar o risco.

Quanto ao agrupamento das espécies, que representa se uma espécie tem comportamento mais individual ou de bando, e é incluído através do fator ‘g’, também mostrou menor relevância que ‘p’ e ‘m’, porém maior que os outros fatores de escala que podem ser variadas, ‘t’ e ‘d’. Em casos de espécies que formam bandos, a chance de ocorrer uma colisão é maior, dando sentido a uma maior aderência de curva quando o fator ‘g’ é levado em consideração. Soma-se o efeito do fator ‘g’, com o número de indivíduos, ‘p’, e o fator ‘m’, ou seja, uma espécie que se move em bandos, com massa alta, e em grande número, é mais provável de colidir, e com uma severidade alta em potencial, já que a massa colidida seria considerável, em comparação a uma espécie com mesma massa, mas de comportamento

individual e poucos indivíduos. Esses números, demonstrados pelas iterações na situação III, são sempre os melhores, ou segundos melhores  $R^2$  em 93% das vezes.

Como espécies que movem em bando tendem a ter um número maior de indivíduos no aeródromo, o cálculo do indicador usando exclusivamente ‘p’ e ‘m’ pode, de certa maneira, considerar o comportamento de bando e simplificar o cálculo do indicador. Ao contrário, cálculos complexos, como determina a RBAC 164, demandam muito tempo e exigem análise de especialista em fauna para avaliar a situação no aeródromo.

Esse indicador obtido pela regressão linear usando apenas a massa total resulta em uma simples equação, como a ilustrada a seguir.

$$\text{Custo esperado [USD]} = 61,68 \sum_{i=1}^n (p_i m_i) - 461.509 \quad (25)$$

Note-se que os custos utilizados foram arbitrariamente estimados com base na parte atingida da aeronave e, por isso, não retratam realmente o valor esperado do custo decorrente de colisões de um determinado aeródromo.

Faz-se necessário, ainda, ressaltar que os resultados deste trabalho foram obtidos utilizando uma base de dados que não relaciona o custo da colisão com a espécie colidida. Isso tem uma implicação importante: todas as espécies que estão no aeródromo têm o mesmo potencial de causar prejuízo.

Para entender melhor esta implicação, suponha que existam apenas duas espécies de aves em um determinado aeródromo. As duas espécies têm a mesma massa típica e a população das duas espécies é exatamente a mesma, 100 indivíduos de cada. No entanto, a espécie ‘A’ colide com certa regularidade e a espécie ‘B’ nunca esteve envolvida em uma colisão. Pela equação 25, esse aeródromo teria o mesmo custo esperado de outro aeródromo que tivesse 200 indivíduos da espécie ‘B’ e nenhum da espécie ‘A’.

Caso a base de dados correlacionasse o custo do incidente à espécie envolvida, os fatores que ponderam o comportamento das espécies podem ter uma influência maior no cálculo final do indicador. Neste caso, o indicador proposto por Schlickmann e Calil (2017) eventualmente pode resultar numa aderência melhor do que o indicador a partir da massa total, exemplificado na equação 25.

Dessa forma, entende-se que o ideal é ter a base de dados de custo por colisão e/ou efeito no voo, levando em consideração a espécie envolvida. Porém, na ausência dessas informações, os resultados deste trabalho indicam que o mais recomendado é simplesmente

avaliar a massa total do aeródromo, dispensando análises mais complexas que tendem a não contribuir significativamente com a avaliação do risco de colisão.

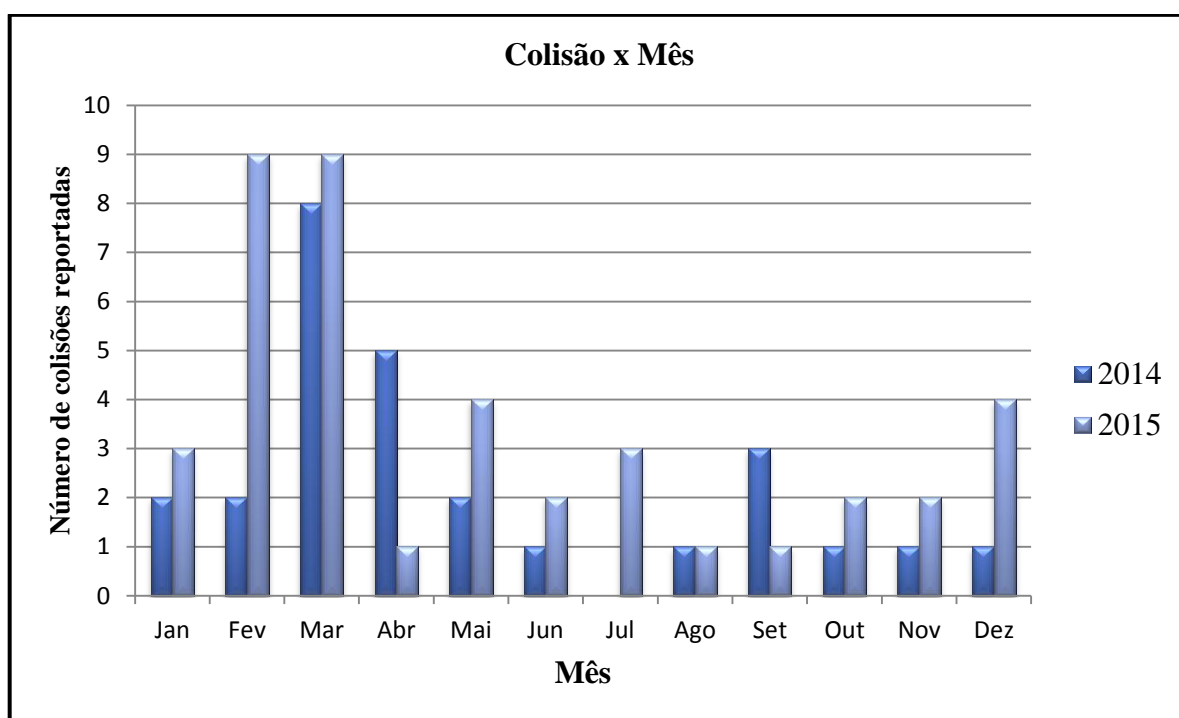
#### 4.2 SAZONALIDADE

Segundo conversa com especialista, há fatores que mudam as populações abruptamente nos aeródromos. Época do ano, e dia chuvoso seguido por dia de tempo firme, são exemplos de fatores que podem influenciar. Os animais vão até áreas de aeroportos em busca de alimento, e de forma geral, quando há aumento de uma espécie, outras também aumentam, devido à abundância de alimento no local.

Se a presença da maioria das espécies aumenta proporcionalmente – quando o número de indivíduos de uma espécie aumenta, outras também aumentam – esse fato não consegue ser alcançado pela simulação, limitando a capacidade do indicador em captar a sazonalidade, por exemplo, dia chuvoso seguido por dia ensolarado, ou aumento da oferta de alimentos por outro motivo.

Quanto à época do ano, a figura 17 mostra as colisões ocorridas nos anos de 2014 e 2015, mostrando um aumento de ocorrências em algumas épocas do ano em SBJV.

Figura 17 – Frequência de colisões por mês entre 2014 e 2015



Fonte: Brasil (2018)

O período de janeiro a junho tem um maior número de colisões se contrastado ao período de junho a dezembro, em ambos os anos. 74,1% das colisões aconteceram no primeiro semestre em 2014, e 68,3%, no mesmo período em 2015. Esse comportamento interfere na aderência da regressão linear produzida, quanto mais aleatório, ou menos sazonal mais fácil de obter um bom  $R^2$ . O indicador consegue representar essas alterações como um todo, já que tende a aumentar a presença de várias espécies, mas não computa individualmente de cada espécie.

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES

Com os dados dos anos de 2014 e 2015, e aplicando as três situações com melhor  $R^2$ , gerou-se o indicador acumulado para os dois anos para cada espécie. A tabela 3 apresenta a regressão linear para os 3 casos com melhor  $R^2$ . A classificação pelo cálculo completo, com todos os fatores, e  $R^2$  de 0,9619, tem fator ‘d’ composto por [20, 24, 26, 29], fator ‘g’ por [2, 57, 58] e fator ‘t’ por [59, 80 e 85].

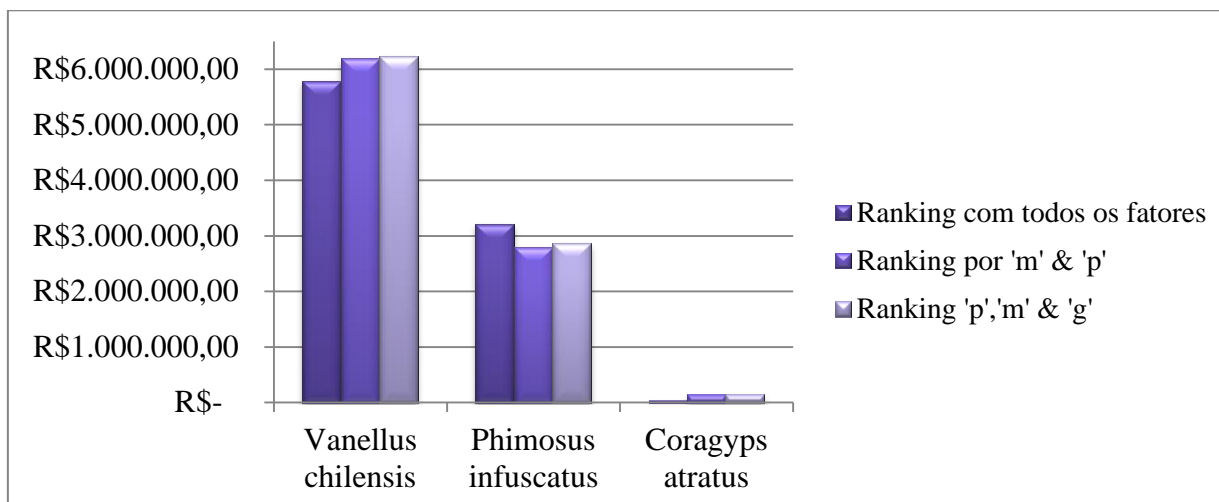
Tabela 3 – Regressão Linear para estimar custos de colisão para cada espécie em dois anos para três situações

Situação	<i>Custo Esperado (USD) = <math>A_1 * Indicador - A_2</math></i>	
	$A_1$	$A_2$
Ranking com todos os fatores	$5,0671 \times 10^{-4}$	541.631
Ranking por ‘m’ & ‘p’	61,68	461.509
Ranking por ‘m’, ‘p’ & ‘g’	1,09	476.689

Fonte: Autor (2018)

Analisando as espécies, três delas ocupam as mesmas colocações nos três casos apresentados. Quero-quero (*Vanellus chilensis*) é a espécie mais crítica, com o maior potencial de trazer prejuízos, seguidos pelos tapicurus-de-cara-pelada (*Phimosus infuscatus*) em segundo lugar, e em terceiro, os urubus-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*). A partir da quarta colocação os custos estimados são aproximados por zero. Os custos esperados para um período de dois anos para as três espécies mais problemáticas é mostrado na figura 18.

Figura 18 - Comparação entre os 3 casos de custos esperados para período de dois anos para as três primeiras espécies do ranking



Fonte: Autor (2018)

Não há mudanças significativas entre as classificações somente com 'p' e 'm' e somente 'p', 'm' e 'g'. Podem-se considerar estes dois casos como mais conservadores, levando em conta que o custo esperado é mais alto, são também mais simples de calcular que o caso completo com todos os fatores.

Após a terceira posição, o custo esperado é aproximadamente zero, ou seja, não representam uma ameaça imediata para o aeródromo. Os valores representam o custo esperado para cada situação ao longo de dois anos.

Não se pode descartar a chance de ocorrência de colisão de nenhuma espécie, mesmo que o custo associado seja considerado zero, ou o indicador apresente números baixos, dado a aleatoriedade de eventos, comportamento de espécies, sazonalidade de clima, alimentos, presença de atrativos nos aeródromos. Sempre há chance de ocorrer colisão, mesmo que um indicador não apresente isto.

Os valores apresentados nessa seção, tanto de indicador, quanto de custos esperados, foram acumulados durante os dois anos estudados, portanto um valor instantâneo baixo também não é uma boa representação para a indicação de risco. Os valores sempre devem ser considerados e acumulados durante determinado período. Num período maior ou em outro sítio de observação, outras espécies podem alterar a classificação, ou mais espécies podem projetar prejuízos.

## 5 CONCLUSÕES

Com o objetivo de melhorar o indicador de risco de colisão entre fauna e aeronaves proposto por Schlickmann e Calil (2017), este trabalho propôs um método para buscar a calibração das escalas dos fatores que compõem o indicador.

Os dados obtidos sobre colisões pelo meio do site do CENIPA não possuem custos associados. Então, buscaram-se dados de custo pelas companhias aéreas, que não disponibilizaram seus dados por questões de sigilo em respeito a seus acionistas. Assim, os custos foram estimados, com base na parte da aeronave que foi atingida, a fim de possibilitar a análise do método proposto.

O método gera as escalas aleatoriamente, produz uma regressão linear e  $R^2$  avalia a qualidade dessas escalas, sempre buscando o melhor valor. Após a definição do método, o algoritmo em MATLAB R2013a® mostrou resultados diferentes do esperado, onde o indicador foi normalizado e na sua forma completa traz valores de  $R^2$  menos representativos ao comparado com formas simplificadas do indicador. Portanto, a sensibilidade de cada fator foi analisada para verificação de predominância de cada um, verificando predominância dos fatores população e massa.

Por questões de facilidade de aplicação, a forma mais simples, somente com fatores 'p' (população) e 'm' (massa), torna-se a mais viável de aplicar nos aeródromos. Ela produz um valor de massa total acumulada, e consegue estimar os valores esperados de custo envolvidos em colisões para determinado período de tempo. Esta situação considerou-se fora do esperado por não diferenciar espécies muito ativas de pouco ativas e/ou com alta capacidade de desvio daquelas espécies que afrontam aeronaves. O coeficiente de determinação nesse caso foi de 0,9630.

Alternativamente, as simulações demonstraram que o fator 'g' (agrupamento) tem influência, ainda que menos predominante que 'p' e 'm'. Dessa forma, uma versão mais requintada do indicador faz a diferenciação das espécies que se agrupam ou comportam-se de forma individual. A partir da regressão linear, e das iterações produzidas, o melhor  $R^2$  obtido 0,9633.

O uso do indicador em sua forma completa é útil, e provou-se plausível. No entanto, por conta dos vários fatores e diferentes escalas, sua implementação pode ser considerada mais difícil, assim como seu uso. Portanto, métodos simplificados são mais interessantes pela aplicação rápida e facilitada.

De forma geral, características como agrupamento, desvio e tempo em atividade não foram mais ou tão representativas quanto número de indivíduos e massa. Por essa análise, não importa quais as espécies presentes nos censos aumentariam mais risco de colisão, mas sim quantos animais de cada espécie estariam no local, para que então se calculasse a massa total e assim teria um valor único de indicador, independente da espécie. Portanto, a espécie com mais massa, somando-se todos os indivíduos, torna-se a mais crítica para o aeródromo. Em diferentes períodos do dia, diferentes espécies aparecem em maior ou menor número, logo mudaria a classificação ao longo do dia, assim os movimentos seriam mais bem alocados de acordo com o horário com menos presença de animais.

O método apresentado permite expansão para todos os aeroportos com dados registrados. Com isso, a sequência deste trabalho é possuir uma maior e mais completa base de dados de colisão entre fauna e aeronaves, contemplando todos os aeródromos brasileiros, bem como uma qualidade maior no reporte de colisões, contendo dados mais representativos com custos associados a cada colisão e dados sobre espécies causadoras.

Dados contendo informações mais precisas de custos estimados habilitariam as simulações mais precisas, delimitando melhor as sazonalidades e particularidades de cada espécie, proporcionando melhores escalas.

Dessa forma, o algoritmo deve ser adaptado para obter uma escala única e fixa para cada um dos fatores para todo o Brasil, permitindo a implementação de um único método de indicador de risco no país, sendo uma alternativa aos métodos já existentes e utilizados.

Um método único e com alta representatividade da realidade causa melhora na distribuição de recursos para mitigar os riscos trazidos. Mitigando riscos, evitam-se acidentes, ou diminui-se a gravidade, e a aviação torna-se mais segura e rentável.

Ressalta-se que o método não relaciona o custo estimado da colisão com a espécie colidida. Uma base de dados mais completa viabilizaria associar essa informação à calibração das escalas dos fatores que compõem o indicador de risco. Nesse caso, seria interessante uma nova análise de sensibilidade para identificar a predominância de um ou mais fatores, e confirmar se há uma memória sobre os dados.

As simulações mostraram que, para os dados obtidos e analisados, nenhuma outra categoria ou fator precisa ser levado em consideração para análise de risco, somente a massa total que está presente no aeródromo, que é calculada pela multiplicação dos fatores 'm' e 'p'.

O importante resultado do passado de colisões ocorridas não influenciar na análise do risco - memória não é importante - contraria os métodos de avaliação utilizados pela ANAC e pelo CONAMA, este último leva em consideração os 5 anos anteriores de dados. Assim, a análise somente com a avaliação da população atual e da massa típica de cada espécie é mais simples e também não exige a presença de especialista para determinar outras características das espécies como comportamento ou tempo em atividade, pois as simulações apontam que somente quantidade de indivíduos e a massa típica são os fatores determinantes.

Assim, sugere-se que o indicador proposto por Schlickmann e Calil (2017) a ser implementado seja somente com os fatores 'p' e 'm', pois são os fatores mais predominantes e que apresentam boa avaliação pelo  $R^2$ .



## REFERÊNCIAS

ACEVEDO, Claudia Rosa; NOHARA, Jouliana Jordan. **Como fazer monografias: TCC, dissertações, teses**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ANAC. RBAC nº 164, de 29 de maio de 2014. **Gerenciamento do risco da fauna nos aeródromos públicos**. Brasília, 30 maio 2014. Diário Oficial da União, Seção 1, p. 53. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao>>. Acesso em: 05 set. 2017

\_\_\_\_\_. IS nº 164-01A, de 30 de julho de 2015. **Análise do risco de colisão entre aeronaves e fauna**. Brasília, 30 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao>>. Acesso em: 17 set. 2017

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. **Resolução nº 466**, de 05 de fevereiro de 2015. Estabelece diretrizes e procedimentos para elaboração e autorização do plano de manejo de fauna em aeródromos e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 06 fev. 2015. Seção 1, p. 56-57. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama](http://www.mma.gov.br/port/conama)>. Acesso em: 05 set. 2017

\_\_\_\_\_. Força Aérea Brasileira. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário**. Disponível em: <[http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/sigra/pesquisa\\_dadosExt](http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/sigra/pesquisa_dadosExt)> Acesso em: 01 ago. 2018.

CARTER, Nicholas B.. All birds are not created equal: risk assessment and prioritization of wildlife hazards at airfields. In: 2001 BIRD STRIKE COMMITTEE-USA/CANADA, THIRD JOINT ANNUAL MEETING, 3., 2001, Calgary. **Proceedings**. Lincoln: Digitalcommons@University Of Nebraska - Lincoln, 2001. p. 22 – 30. Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/birdstrike2001/8/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

DIMOV, Ivan T. **MONTE CARLO METHODS FOR APPLIED SCIENTISTS**. Singapore: World Scientific Publishing, 2008.

DOLBEER, Richard. A.; WRIGHT, Sandra. E.; CLEARY, Edward. C. Ranking the hazard level of wildlife species to aviation. **Wildlife Society Bulletin**, v. 28, n. 2, p.372-378, jun. 2000.

ESTADOS UNIDOS. National Archives and Records Administration. **Code of Federal Regulations - Title 14: Aeronautics and Space - Part 25**, de 01 de janeiro de 2018. Washington, DC: U.S Government Publishing Office, 01 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2018-title14-vol1/pdf/CFR-2018-title14-vol1.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

INFRAERO. **Dados sobre movimentos, censo populacional de espécies e suas características**. Joinville, 2018.

FROLA, Robert. **Boeing 737NG**. Disponível em:  
<<https://www.flickr.com/photos/robertfrola/5780419541/>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

KALDOR, Jonathan. **Monte Carlo Methods and Area Estimates**. Ithaca: Slides, 2008. Color. Disponível em:  
<<http://www.cs.cornell.edu/courses/cs3220/2008su/slides/montecarlointegration.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2018.

KATZGRABER, Helmut G.. Introduction to Monte Carlo Methods. In: INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL "MODERN COMPUTATION SCIENCE", 3., 2011, Oldenburg. **Lecture**. Ithaca: Cornell University Library, 2011. p. 1 - 37. Disponível em:  
<<https://arxiv.org/pdf/0905.1629.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2018.

MATHWORKS. **MATLAB R2013a User's Guide**, 2013.

METROPOLIS, Nicholas. THE BEGINNING of the MONTE CARLO METHOD. **Los Alamos Science**, Los Alamos, v. 15, n. 1, p.125-130, jan. 1987. Disponível em: <<https://lib-www.lanl.gov/lascience15.shtml>>. Acesso em: 03 out. 2018.

MONTGOMERY, Douglas C; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

OLIVEIRA, Henrique Rubens Balta de. **Risco de fauna: aplicando o SMS para o gerenciamento integrado no Brasil**. 2014. 163 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2014.

PATON, David C.. **Bird risk assessment model for airports and aerodromes**. Consultancy report for Adelaide Airport Ltd. 15 pp. 2010.

PROTHERO, Russell. **Also Spotted at Rockhampton Airport Over The Last Few Days**. Disponível em: <<http://cqplanespotting.blogspot.com/2013/04/also-spotted-at-rockhampton-airport.html>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

SCHLICKMANN, Emmanuel; CALIL, Luís Fernando Peres. Desenvolvimento de índice para análise de risco de colisões de fauna com aeronaves. In: XIV SEMANA DE ENGENHARIA AERONÁUTICA, Universidade de São Paulo, 21 a 25 de agosto de 2017, **Anais Eletrônicos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2017. Disponível em:  
<<http://www.eventos.eesc.usp.br/seaero2017>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

VAN DAMME, Jacky; STOLK-OELE, Miranda. **8 Things You Probably Don't Know About Jet Engines**. 2017. Disponível em: <<https://blog.klm.com/8-things-you-probably-dont-know-about-jet-engines/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

VILLAREAL, Lina Margarita A.. **Programa Nacional de Limitación de Fauna em Aeropuertos**. AeroCivil, Bogotá, 2008.

## APÊNDICE A

Tabela 4 – Custo estimado para cada colisão

TIPO	DATA	CUSTO ESTIMADO (USD)	TIPO	DATA	CUSTO ESTIMADO (USD)	TIPO	DATA	CUSTO ESTIMADO (USD)
Colisão	06/01/2014	55.600,00	Colisão	20/09/2014	55.600,00	Colisão	26/03/2015	500.000,00
Colisão	06/01/2014	80.000,00	Colisão	21/09/2014	55.600,00	Colisão	27/03/2015	10.000,00
Colisão	12/01/2014	55.600,00	Colisão	08/10/2014	55.600,00	Colisão	30/03/2015	45.000,00
Colisão	11/02/2014	100.000,00	Colisão	05/11/2014	55.600,00	Colisão	26/04/2015	55.600,00
Colisão	22/02/2014	55.600,00	Colisão	11/12/2014	15.000,00	Colisão	01/05/2015	55.600,00
Colisão	16/03/2014	45.000,00	Colisão	04/01/2015	55.600,00	Colisão	25/05/2015	55.600,00
Colisão	18/03/2014	15.000,00	Colisão	14/01/2015	55.600,00	Colisão	27/05/2015	15.000,00
Colisão	22/03/2014	55.600,00	Colisão	28/01/2015	55.600,00	Colisão	30/05/2015	1.000.000,00
Colisão	24/03/2014	10.000,00	Colisão	03/02/2015	15.000,00	Colisão	20/06/2015	55.600,00
Colisão	26/03/2014	55.600,00	Colisão	05/02/2015	55.600,00	Colisão	14/07/2015	24.000,00
Colisão	30/03/2014	55.600,00	Colisão	07/02/2015	55.600,00	Colisão	14/07/2015	55.600,00
Colisão	30/03/2014	55.600,00	Colisão	09/02/2015	55.600,00	Colisão	21/07/2015	45.000,00
Colisão	31/03/2014	80.000,00	Colisão	09/02/2015	45.000,00	Colisão	31/08/2015	45.000,00
Colisão	05/04/2014	55.600,00	Colisão	11/02/2015	500.000,00	Colisão	16/09/2015	55.600,00
Colisão	15/04/2014	1.000.000,00	Colisão	25/02/2015	10.000,00	Colisão	05/10/2015	55.600,00
Colisão	16/04/2014	1.000.000,00	Colisão	26/02/2015	55.600,00	Colisão	14/10/2015	55.600,00
Colisão	22/04/2014	55.600,00	Colisão	26/02/2015	250.000,00	Colisão	05/11/2015	500.000,00
Colisão	25/04/2014	250.000,00	Colisão	04/03/2015	55.600,00	Colisão	09/11/2015	55.600,00
Colisão	11/05/2014	55.600,00	Colisão	10/03/2015	1.000.000,00	Colisão	16/12/2015	55.600,00
Colisão	13/05/2014	55.600,00	Colisão	11/03/2015	500.000,00	Colisão	18/12/2015	55.600,00
Colisão	04/06/2014	55.600,00	Colisão	12/03/2015	55.600,00	Colisão	25/12/2015	55.600,00
Colisão	22/08/2014	55.600,00	Colisão	13/03/2015	80.000,00	Colisão	29/12/2015	1.000.000,00
Colisão	19/09/2014	55.600,00	Colisão	18/03/2015	500.000,00			

Fonte: Brasil (2018) e Autor (2018)